

The Hon. G. B. L.



Digitized by the Internet Archive
in 2025 with funding from
University of Toronto

LEHRBUCH
DER
AGRIKULTURCHEMIE
IN VORLESUNGEN

VON
DR. ADOLF MAYER.

ZWEITER THEIL.
ERSTE ABTHEILUNG.
DIE BODENKUNDE.

MIT IN DEN TEXT GEDRUCKTEN ABBILDUNGEN.

VIERTE VERBESSERTE AUFLAGE.



HEIDELBERG.
CARL WINTER'S UNIVERSITÄTSBUCHHANDLUNG.
1895.

Agrie.
Soll

DIE
BODENKUNDE
IN ZEHN VORLESUNGEN

ZUM GEBRAUCH AN UNIVERSITÄTEN
UND HÖHEREN LANDWIRTSCHAFTLICHEN LEHRANSTALTEN
SOWIE ZUM SELBSTSTUDIUM

VON

DR. ADOLF MAYER,

PROFESSOR UND VORSTAND DER HOLLÄNDISCHEN REICHSVERSUCHSSTATION IN WAGENINGEN.

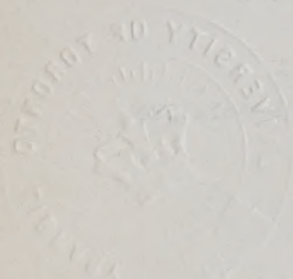
MIT IN DEN TEXT GEDRUCKTEN ABBILDUNGEN.

VIERTE VERBESSERTER AUFLAGE.



8 77 10
28 / 5 / 09

HEIDELBERG.
CARL WINTER'S UNIVERSITÄTSBUCHHANDLUNG.
1895.



Das Recht der Übersetzung in fremde Sprachen wird vorbehalten.



Inhaltsverzeichnis

des ersten Abschnittes des zweiten Teils.

Die Bodenkunde.

Erste Vorlesung, p. 3—19.

Die Entstehung der Ackererde. Einleitende Bemerkungen. — *Die mineralische Grundlage der Ackererde.* Die krystallinen Massengesteine.

Zweite Vorlesung, p. 19—33.

Die Entstehung der Ackererde. (Fortsetzung.) *Die Verwitterung.* — *Die Verschwemmung.*

Dritte Vorlesung, p. 38—51.

Die Entstehung der Ackererde. (Fortsetzung.) *Flözgebirge und verschwemmte Böden.*

Vierte Vorlesung, p. 51—64.

Die Entstehung der Ackererde. (Fortsetzung.) *Bodenklassifikation.* — *Die mechanische Bodenanalyse.* — *Veränderungen des Bodens infolge des Pflanzenwuchses.* Anteil der Pflanze an der Bodenverwitterung. — Widerstand der Pflanze gegen Bodenverschwemmung. — Die verwesende Pflanzenmasse als Bodenbestandteil.

Fünfte Vorlesung, p. 65—76.

Die Entstehung der Ackererde. (Schluss.) *Die Entstehung und Bedeutung des Humus.*

Sechste Vorlesung, p. 77—94.

Die chemische Beschaffenheit der Ackererde. Die Ackererde als Ernährerin. — *Die chemische Bodenanalyse.* — *Die Absorptionerscheinungen.* Die Ursache derselben.

Siebente Vorlesung, p. 94—111.

Die chemische Beschaffenheit der Ackererde. (Schluss.) *Die Absorptionerscheinungen in ihrer Wirkung.* — Drainwasser.

Achte Vorlesung, p. 111—127.

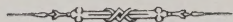
Die physikalische Beschaffenheit der Ackererde. *Die Bodenwärme.* Die Absorption der Wärmestrahlen. — Verhalten der Bodenfeuchtigkeit zur Bodenwärme. — Die Wärmeleitung im Boden. — Die Abkühlung des Bodens durch Strahlung.

Neunte Vorlesung, p. 128—145.

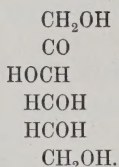
Die physikalische Beschaffenheit der Ackererde. (Fortsetzung.) *Die Bodenwärme.* Die von der Sonne unabhängigen Wärmequellen. — *Die Bodenfeuchtigkeit.* Das Kondensationsvermögen des Bodens für Wasser. — Die Wasserkapazität.

Zehnte Vorlesung, p. 145—160.

Die physikalische Beschaffenheit der Ackererde. (Schluss.) *Die Bodenfeuchtigkeit.* Die Durchlässigkeit des Bodens für Wasser. — Ursachen der Undurchlässigkeit. — Die kapillare Leitung des Wassers. — *Wirkung von Organismen in der Ackererde.*

**Druckfehler und Verbesserungen.**

Teil I, p. 117. Die neueste für den Traubenzucker auf Grund der eingehendsten Studien aufgestellte Formel ist:



Vergl. E. Fischer: Chem. Ber., 1894, p. 3189.

P. 230 Zeile 5 v. u. statt „Dextrase“ lies „Dextrinase“.

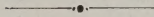
„ 230 „ 3 „ „ „ „Dextrose“ „ „Dextrinase“.

„ 232 „ 5 „ „ müssen die Worte „einigermaassen hypothetisch“ wegfallen.



Erster Abschnitt.

Bodenkunde.



Erste Vorlesung.

Die Entstehung der Ackererde. — Die mineralische Grundlage der Ackererde.

Unsere gesamte bisherige Darstellung hat dazu gedient, uns eine möglichst genaue Vorstellung von den Lebensbedingungen der grünen Pflanzen zu verschaffen. — In dem zweiten Teil unserer Aufgabe, zu dem wir nun übergehen, und welchen wir wohl auch als eine *Grundlage zur Theorie des Feldbaues* bezeichnet haben, werden wir untersuchen, *wie jene erkannten Lebensbedingungen unter den Verhältnissen, unter welchen der Landwirt seinem Gewerbe obliegt, sich realisieren.*

Wir werden uns bei dieser neuen Aufgabe ganz ausschliesslich auf diejenigen der grünen Gewächse beziehen, welche wir schon in unsern bisherigen Betrachtungen bevorzugten, nämlich auf diejenigen, welche eine Bedeutung für den Feldbau haben, — auf die landwirtschaftlichen Kulturgewächse. Diese sind nun samt und sonders Landpflanzen und somit Gewächse, die sich an der Grenze zweier Medien, mit den Wurzeln in dem von Wasser befeuchteten *Erdreich*, mit dem grössten Teil des Stamms, den chlorophyllhaltigen Organen, den Blüten und Früchten in der *Atmosphäre* entwickeln.

Um also die bestehenden Verhältnisse aufzufinden, welche die realen Vegetationsbedingungen der Kulturgewächse darstellen, werden wir naturgemäss jene beiden Medien als Träger dieser Bedingungen zu untersuchen und zuzusehen haben, in welcher Weise sich diese letzteren in den verschiedenen Gegenden, Jahreszeiten etc. bei den verschiedenen Kulturen und Kulturmethoden in jenen Medien gruppieren. Alsdann wird uns von selbst das Verständnis aufgehen über den Sinn der menschlichen Eingriffe in die natürlichen Verhältnisse des Pflanzenwachstums — in die Bedeutung der Thätigkeit des Ackerbauers.

Wir sind zwar schon in dem vorigen Teile gelegentlich unserer Aufgabe vorangeeilt und haben die Hauptverhältnisse desjenigen Mediums, welches hinsichtlich der Vegetationsbedingungen, die es in sich einschliesst, leicht übersehen werden kann — der Atmosphäre, schon eingehenderen Betrachtungen unterworfen*). Wir haben diesen hier nur wenige Worte hinzuzufügen.

Die *Atmosphäre*, in welche die oberirdischen Organe der Landpflanze eintauchen, ist der Sitz einer Reihe von Vegetationsbedingungen. Dieselbe enthält den *Sauerstoff*, der zum Leben aller Pflanzen, die *Kohlensäure*, die zur Produktions-thätigkeit der grünen Pflanze unentbehrlich ist, den *Stickstoff*, welchen wenigstens die meisten Arten der Familie der schmetterlingsblütigen Pflanzen durch die früher beschriebene Symbiose mit gewissen niedrigen Organismen als Nährstoff zu benutzen verstehen; sie enthält ferner äusserst geringe Mengen allgemein zugänglicher *stick-*

*) Im ersten, zweiten, vierten und auch im fünften Abschnitt des ersten Teils.

stoffhaltiger Pflanzennahrung. Von dem *Wassergehalt* und der *Wärme* der über der Pflanze ruhenden Luftschicht ist die so wichtige pflanzliche Transpiration in ihrer Intensität durchaus abhängig, von dieser Wärme ausserdem die Möglichkeit aller einzelnen Vegetationsprozesse und sogar ganz unmittelbar die Existenz des pflanzlichen Organismus. Von der *Durchstrahlbarkeit* dieser und der noch höher lagernden Luftschicht ist weiter die Licht- und wiederum die Wärmemenge abhängig, die der Pflanze zur Verfügung steht, und so ist die atmosphärische Luft in mannigfacher Weise Trägerin oder Vermittlerin von Vegetationsbedingungen, *deren Zufluss und Intensität durch ihre Eigenschaften reguliert wird.*

Trotzdem ist diese Luft dasjenige von den die Kulturgewächse umgebenden Medien, auf welches sich die *Aufmerksamkeit und Thätigkeit des Landwirts nur in ganz vereinzeltten Fällen erstreckt.* — Es kann nun nicht etwa bezweifelt werden, dass die Abänderung der Eigenschaften der Atmosphäre und der klimatischen Eigenschaften, die mit ihnen in Zusammenhang stehen, in manchen Fällen eine für den Pflanzenwuchs nützliche Maassregel wäre. Es kann mit Sicherheit angenommen werden, dass unter vielen Umständen die Vermehrung der Kohlensäure, des gebundenen Stickstoffs, des Wasserdampfs der atmosphärischen Luft, dass die Veränderung der Wärme, der Durchstrahlbarkeit, der Bewegung derselben für das Gedeihen der Pflanzen vorteilhaft wäre.

Der Grund dafür, dass der Landwirt seine Thätigkeit beinahe ganz ausschliesslich auf die Abänderung der Eigenschaften des Bodens erstreckt, kann also nicht darin liegen, dass die Vegetationsbedingungen der Atmosphäre schon etwa alle in sehr vollkommenem Grade vorhanden wären, so dass es sich nur darum handeln könnte, die des Bodens zu vermehren, dass mit anderen Worten die Vegetationsbedingungen des Bodens unter allen Umständen im *Minimum**) vorhanden wären, so dass nur die Vermehrung dieser Vorteil bringen könnte; denn wäre dies der Fall, *so würden wir die Grösse unserer Ernten in Wirklichkeit nur von den Eigenschaften des Bodens bedingt sehen, nicht von einer Reihe von Umständen, deren periodisch veränderlichen Teil wir für einen und denselben Ort als Witterung kurzweg bezeichnen,* während in Wahrheit die Witterung noch mehr als die Bodeneigenschaften die Möglichkeit einer bestimmten Kultur und innerhalb der möglichen Kulturen die Grösse der Ernte bedingen.

Wir müssen also den Grund dafür, dass der Landwirt beim Pflanzenbau gemeiniglich nicht unternimmt, auf die Eigenschaften der Atmosphäre einzuwirken, ganz wo anders suchen. In der That, wir brauchen uns nicht lange zu bedenken und nur die eigentümlichen Eigenschaften der Atmosphäre vor unserm Auge Revue passieren lassen, um zu finden, dass jener Grund einfach in der menschlichen *Unfähigkeit* liegt, auf dieselben in wirksamer Weise einzuwirken.

Diese Eigenschaften lassen sich mit dem einen Worte hinlänglich charakterisieren, dass *die Luft niemandens Eigentum ist.* — Wollte jemand es unternehmen, die Luft oberhalb seines Grundstücks durch irgend ein Mittel an Kohlensäure zu bereichern, er würde (infolge der natürlichen Strömungen und, abgesehen von diesen,

*) Nach der in der neunzehnten Vorlesung des ersten Teils gegebenen Erläuterung.

der Diffusionsfähigkeit dieses gasförmigen Mediums) auch die Luft oberhalb des Grundstücks seiner Nachbarn und ebenso die höheren Luftschichten, die mit der Pflanzenwelt in gar keiner direkten Berührung stehen, an demselben Stoffe bereichern. Man würde also mit sehr grossen Mengen keine sehr merklichen Wirkungen erreichen können. — Man kann etwas Derartiges nur und mit sehr unvollständigem Erfolge ausführen durch Düngung des Ackers mit Kohlensäure-entwickelnden Substanzen, also durch Manipulationen, die man *im Boden* vornimmt. Diese physische Beschaffenheit der Luft, welche die Aneignung ihrer nützlichen Eigenschaften unmöglich macht, stempelt sie wesentlich zum wirtschaftlich „freien Gute“.

Die gleiche Schwierigkeit, in Folge der nämlichen Eigenschaften der Luft, würde sich ergeben, wollte man der Luft irgend einen anderen Stoff zuführen, dessen Vermehrung die Vegetation zu steigern im Stande wäre. — Es ist also klar ersichtlich, warum eine „Düngung der Luft“ (wie wir uns ausdrücken können) eine unausführbare Operation, ein wahres Schöpfen ins Fass der Danaïden sein würde*). Die Düngung des Bodens würde genau dasselbe sein, wenn die demselben einverleibten Düngestoffe die analoge Eigenschaft hätten, sich z. B. mit grosser Geschwindigkeit nicht bloss auf die Felder der Nachbarn, sondern durch den ganzen festen Erdkörper und bis zum Mittelpunkt der Erde zu verbreiten.

Wollte man es dann weiter unternehmen, die Luft in ihren Temperaturverhältnissen abzuändern, sie zu „heizen“, so würde sich etwas ganz Ähnliches geltend machen. Die Wärme würde schnell verfliegen, und man müsste eine sehr grosse Anzahl von Pfunden Kohlenstoff verbrennen, bis man dadurch auch nur die Mehrproduktion eines einzigen Pfundes durch die Pflanzenwelt veranlasst haben würde. — Dergleichen Maassregeln sind nur zweckmässig bei der Pflanzenkultur im kleinsten Maassstab, wo man es unternimmt, die ganze über den Pflanzen befindliche Atmosphäre nach aussen hin vollständig abzusperren, — in unsern Treibhäusern. Dort handelt es sich eben nicht um Produktion grosser Mengen von Pflanzenmasse, sondern um das Fortbringen seltener Gewächse für Liebhaberzwecke, in einzelnen Fällen vielleicht auch um die Erzeugung seltener Stoffe durch dieselben. Für die grosse Kultur kann an dergleichen natürlich nicht gedacht werden.

So ist denn durch dies Verhalten ersichtlich, dass der Ackerbauer *nicht sämtliche Produktionsbedingungen seiner Ernten in der Hand hat*. Diese letzteren sind nicht bloss abhängig von der Bodenbeschaffenheit seiner Grundstücke, auf die er willkürlich einzuwirken vermag, sondern ebenso von einer Reihe anderer Faktoren, die er nicht beherrscht und die für ihn bloss *Zufälligkeiten* sind. Diese anderen Faktoren werden, wenigstens der Teil von ihnen, welcher variabler Natur ist, und soweit sie sich auf einen und denselben Ort beziehen, wie schon erwähnt, als „Witterung“, insoweit sie sich auf verschiedene Orte beziehen, als „Klima“ bezeichnet. — Die Abhängigkeit des landwirtschaftlichen Gewerbes von den Zufälligkeiten der Witterung giebt demselben einen eigentümlichen wirtschaftlichen Charakter, der bis in die Kreditverhältnisse hinein klar zu erkennen ist.

*) Nur in der gärtnerischen Praxis scheint ein derartiger Fall vorzukommen: Giessen von gefaultem Urin neben Topfrosen in England, wodurch man die Blätter dunkelgrün erhält (vermutlich Ammoniakaufnahme aus der Luft).

Eine einzige landwirtschaftliche Manipulation ist allerdings bekannt, durch welche in wirksamer Weise die Eigenschaften der Atmosphäre willkürlich abgeändert werden, und derselben haben wir schon gelegentlich Erwähnung gethan*). Es ist dies die Erzeugung von Rauch in Nächten, wo bei stiller Luft die Saaten durch Wärmestrahlung gegen den klaren Himmel zu erfrieren drohen, und diese vereinzelt dastehende Maassregel ist jedenfalls nur in einer beschränkten Anzahl von Ländern und für eine beschränkte Anzahl von Gewächsen eine praktisch rentable. Hier ändert man also thatsächlich die Eigenschaften der atmosphärischen Luft in wirksamer Weise ab; dies ist aber in jenen seltenen Fällen nur möglich, weil man es dann mit einer sehr ruhigen Luft zu thun hat, und so die Zerstreuung des Rauchs sich sehr verzögert, während bei nur schwach bewegter Luft die geschilderten Eigentümlichkeiten zum Vorschein kommen müssten. Es ist ferner zu bedenken, dass es sich bei dieser Maassregel um die Rettung einer ganzen Ernte handelt, die sonst vollständig verloren sein würde, nicht um den Zuwachs eines Bruchteils, und dass endlich die hierzu notwendigen Opfer nur für eine sehr kurze Zeit, häufig eine einzige Nacht, gefordert werden.

Hier reiht sich dann noch etwa die sehr kleine Zahl von landwirtschaftlichen Maassregeln an, die nicht als eine Abänderung der Eigenschaften der Atmosphäre aufgefasst werden können, wohl aber Veränderungen sogenannter atmosphärischer Vegetationsbedingungen in ihrem Gefolge haben. Hierzu gehört das Ziehen von Dämmen, das Säen in rauher Furche oder das Führen von Hecken oder von anderen wandartigen Schutzmitteln gegen raue Winde, wie dies in vielen nördlicheren Gegenden in Gebrauch ist (Bohnenhecken in den holländischen Tabaksplantagen). Man kann durch Anlegung derartiger Schutzwehren die Temperatur der Erdoberfläche bei kaltem Wind um mehrere Grade höher halten, als diese blossgelegt zeigen würde, und damit den Pflanzungen gelegentlich einen grossen Vorsprung oder einigen Schutz gegen das Erfrieren verleihen.

Dahin würde dann weiter zu rechnen sein die Veränderung der Neigung des Terrains durch Erdarbeiten gegen den mittleren Stand der Sonne, eine Maassregel, die bei intensiver Weinkultur wohl vorgenommen wird, und durch welche nicht die Eigenschaften des Bodens, wohl aber die Menge des demselben zufallenden Lichts und namentlich der Wärme abgeändert werden. In der erhöhten Temperatur auch der die Pflanze umgebenden Luftschicht ist aber die Zweckmässigkeit dieser Maassregel bei der Weinkultur zu suchen.

Es ist schliesslich an dieser Stelle zu erwähnen die Veränderung des Klimas durch Abholzen oder Anpflanzen von Wäldern u. s. w., insofern dadurch die mittlere Bewölkung des Himmels und die Regenmenge**) abgeändert wird. Freilich ist es wegen der Schwierigkeit einer strengen Beweisführung bezweifelt worden, ob dieser

*) Siehe die 25. Vorlesung des ersten Teils.

**) Nach Beobachtungen von Becquerel über die Regenmenge in der Nähe von Wäldern geht hervor, dass dieselbe durch die Anwesenheit dieser in einem Falle von 730:585 vermehrt worden ist; vergl. Landw. Jahresber., 1867—68, p. 21. Freilich ist damit noch nicht bewiesen, dass eine absolute Vermehrung der Niederschläge durch Bewaldung stattfindet, sondern nur, dass die Niederschläge mit Vorliebe in der Nähe von Wäldern erfolgen.

Einfluss der Bewaldung auf das Klima thatsächlich besteht*), während jene andere Funktion der Wälder, das gefallene Wasser langsam abfliessen zu lassen und so namentlich die Thäler vor Überschwemmungen einerseits, vor sommerlicher Trockenheit andererseits zu schützen, an unzähligen Beispielen leicht nachgewiesen werden kann. Diese letztere Beziehung der Bewaldung zum Wasserreichtum einer Gegend gehört aber offenbar nicht hierher, da es sich in ihr um Bodeneigenschaften handelt; dieselbe wird bald am geeigneten Orte Besprechung finden. Jene erstere ist aber einer der wenigen hier zu erörternden Fälle, infolge deren es thatsächlich möglich ist, durch wirtschaftlich ausführbare Operationen auf atmosphärische Fruchtbarkeitsbedingungen einzuwirken. Beide Beziehungen sind jedoch treffliche Beispiele für jenes seltene aber lehrreiche Verhalten, wo die auf das Interesse des einzelnen Wirtschaftenden gegründeten Maassregeln der Gesamtheit der jetzt und in Zukunft Wirtschaftenden positiven Schaden bringt und eine staatliche Bevormundung der Privatwirtschaft am Platze erscheint, wie sie ja eben für die Erhaltung der Wälder in vielen Ländern besteht.

Alle übrigen Manipulationen des Ackerbaues erstrecken sich auf *Veränderungen der Eigenschaften des Bodens* oder sie sind Arbeiten an der zu erntenden Pflanze selbst. Die letzteren sind noch verhältnismässig selten Gegenstand einer Darstellung vom theoretischen Standpunkte aus gewesen, einfach deshalb, weil von diesem Standpunkte aus zur Zeit verhältnismässig wenig über sie gesagt werden kann, und sie werden in der Regel nicht in den Rahmen der eigentlichen Agrikulturchemie gefasst**). Die landwirtschaftlichen Maassregeln, die sich auf den Boden beziehen, zerfallen wieder in zwei sehr ungleich grosse Unterabteilungen, in die der *Stoffzufuhr* oder der *Düngung* und in die der *mechanischen Bodenbearbeitung*. Die erstere ist ein grosses Kapitel, in Bezug auf welches die Agrikulturchemie bis jetzt eigentlich allein Gelegenheit gehabt hat, etwas Praktisches für den Feldbau zu leisten, und welches auch uns längere Zeit beschäftigen wird. Die andere Unterabteilung ist viel schwieriger einer wissenschaftlichen Behandlung zugänglich, da entweder der Sinn der üblichen Bodenbearbeitungsmethoden grossenteils selbstverständlich erscheint, oder die Theorie der Pflanzenernährung noch wenig zu deren Erklärung beizutragen vermag. Die Behandlung dieses Gegenstandes mag uns daher als abseits der theoretischen Agrikulturchemie liegend gleichfalls erlassen bleiben***).

*) Vergl. Schleiden: Für Baum und Wald, 1870, p. 49. Die weiteren Zusammenstellungen dieser Schrift beweisen übrigens wohl mit vollkommener Sicherheit, dass auch das Klima direkt — freilich nicht immer in derselben Richtung — durch Wald resp. Entwaldung beeinflusst wird, dass wir es somit in der Veränderung des Waldbestandes mit einer wichtigen, ja sogar der einzigen bisher hervorragend wichtigen Maassregel zu thun haben, durch die es möglich ist, atmosphärische Vegetationsbedingungen in wirksamer Weise abzuändern. Vergl. über diesen Gegenstand auch noch eine Anmerkung in der vierten Vorlesung und Berger: Poggendorf's Annalen, B. 124, p. 558; ferner Ebermayer: Die physikal. Einwirkung des Waldes etc., 1873.

**) Die theoretisch bestbegründete Darstellung dieses Gegenstandes ist wohl: E. Wollny: Saat und Pflege der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen, Berlin 1885.

***) In Bezug auf dieselbe sei verwiesen auf: O. Pitsch: Die Theorie der Bodenbearbeitung und ihre Anwendung auf die Praxis, Dresden 1884.

Ehe wir aber den Zweck der künstlichen Veränderung der Bodenbeschaffenheit durch Düngung beim Pflanzenbau zu studieren fähig sein werden, müssen wir selbstredend die sehr komplizierten natürlichen Verhältnisse des Bodens einer aufmerksamen Betrachtung unterwerfen.

Die Kenntnis der Eigenschaften des Bodens oder der Ackerkrume, wie man den zum Pflanzenbau dienenden Teil des Bodens gewöhnlich nennt, setzt aber wieder die Kenntnis von dessen Entstehung voraus, und mit dem Studium dieser Entstehung geraten wir natürlich in die Geschichte der physischen Entwicklung unseres Erdballs — in die Wissenschaft der Geologie hinein.

Der Boden, in welchem die Nutzpflanze wurzelt, gehört indessen, auch abgesehen von der später hinzutretenden Düngung, nur in den weitaus selteneren Fällen ganz und gar dem Mineralreich an; in der Regel ist ihm von der vegetativen Thätigkeit einer früheren Pflanzengeneration her ein Teil der damals gebildeten organischen Substanz einverleibt worden und er ist somit teilweise organischer Natur. Wir werden in unserer Darstellung der Entstehung der Ackerkrume diese beiden handgreiflich verschiedenen Momente der *rein mineralischen Bildung* dieses Mediums und der *Veränderung desselben durch die Thätigkeit von Organismen* auseinanderhalten, wenn auch eine Bodenbildung, bei welcher das letztere Moment ganz ausgeschlossen wäre, zu den grössten Seltenheiten gehört.

Nach dem *Ursprung* der rein mineralischen Bestandteile der Ackererde brauchen wir nicht zu fragen, denn wir wissen, dass die nämlichen Substanzen die Oberfläche unseres ganzen Planeten bilden. Wir haben uns nur die beiden Fragen vorzulegen: *Wie hat die Ackerkrume jene eigentümliche mechanische Beschaffenheit angenommen, die wir an ihr bemerken?* und dann: *Wie hat die Ackerkrume die chemische Mischung der einzelnen mineralischen Bestandteile erlangt, die sie ebenso von den anderen festen Teilen der Erdoberfläche und welche die eine Bodenart von der anderen unterscheidet?* Wir haben natürlich nur unter Bezugnahme auf die in der Geologie feststehende Annahme, welche aussagt, dass die oberflächliche Beschaffenheit unseres Planeten früher eine andere gewesen ist, eine Berechtigung, diese Fragen aufzuwerfen.

Wir müssen nun bei der Behandlung des Entstehungsprozesses der Ackerkrume von dem Punkte ausgehen, von welchem an die physische Geschichte unseres Erdballs erst eine klare Fassung gewinnt*). Der Prozess, mit dem wir es hier hauptsächlich zu thun haben, ist ein solcher, der nach der Auffassung der verschiedenen wissen-

*) Dabei können wir die Kontroversen der verschiedenen geologischen Hypothesen ziemlich auf sich beruhen lassen. Zur historischen Erörterung nur so viel. Die *Plutonisten* legten ihrer geologischen Anschauung eine mehr astronomische, d. h. dem Verhalten anderer Weltkörper entnommene Hypothese zu Grunde und machten demgemäss die Annahme, dass sich der Erdball früher in feurig-flüssigem Zustande befunden habe, und dass er in diesen wahrscheinlich durch Verdichtung der Materie geraten sei; sie nehmen infolgedessen an, dass die Erde auch jetzt noch im Innern ausserordentlich heiss, resp. feurig-flüssig sei, und dass dies der Grund sei, dass man in tiefen Bergwerken eine stufenweise Temperaturzunahme beobachtet. Dem gegenüber stellten sich die (*neueren*) *Neptunisten*, die hier allein erwähnt zu werden brauchen, auf den rein empirischen Standpunkt ihrer *geognostischen* Erfahrung; sie zeigten, dass eine

schaftlichen Richtungen in der Geologie *im wesentlichen identisch ist*. Es ist dies *die Zerstörung der krystallinischen Massengesteine durch die Verwitterung* im weitesten Sinne des Worts *und deren Übergang in geschichtete Gesteine und andere*

Reihe von geologischen Vorgängen, welche von den Plutonisten aus ihrer Hypothese des feurig-flüssigen Zustandes erklärt und, wie man hinzusetzen muss, häufig in sehr oberflächlicher Weise erklärt wurden, noch heute an der Erdoberfläche bei Ausschluss jener (von den Plutonisten angenommenen) Bedingungen verlaufen, und erachteten es für möglich, dass wenigstens alle diejenigen geologischen Erscheinungen, deren sichtbaren Reste noch jetzt vor unsern Augen liegen, auf diese einfache Weise erklärt werden könnten. Die vulkanischen Erscheinungen und die (von ihnen als sehr unregelmässig erwiesene) Zunahme der Temperatur gegen das Erdinnere werden durch lokale chemische Reaktionen oder auch wohl gar nicht erklärt. — Es muss dieser Richtung, bei all ihren absurden Konsequenzen im einzelnen, das bedeutende Verdienst zuerkannt werden, namentlich durch aufmerksame chemischen Studien unsere Kenntniss von den möglichen „*geologisch-chemischen Reaktionen*“ ausserordentlich erweitert zu haben und den Plutonismus, der es sich mit seinen Detailerklärungen sehr bequem zu machen pflegte und trotz der unverkennbaren Wahrscheinlichkeit und theoretischen Überlegenheit seiner Grundanschauung sich als eine geologisch wenig fruchtbare Richtung erwiesen hatte, in seine Grenzen zurückgewiesen und zu einem kritischeren Verfahren gezwungen zu haben. — Für die Betrachtungen, zu deren Anstellung wir die Hilfe der Geologie in Anspruch nehmen müssen, berührt uns diese Kontroverse, die sich bekanntlich wesentlich auf die Entstehung der krystallinischen, der sogenannten plutonischen Gesteine bezieht, sehr wenig. Nach der herrschenden plutonistischen Anschauung sind diese Gesteine, die auch als Urgebirgsarten bezeichnet werden, die Überreste des feurig-flüssigen Zustandes der Erdoberfläche und durch Erstarrung* der flüssigen Masse infolge der Ausstrahlung eines Theils der Wärme entstanden. Gehen wir einen Augenblick auf die plutonistische Hypothese ein, so können wir uns der Folgerung nicht entziehen, dass bei jenem sehr heissen Zustand des Erdballs das Wasser, das heute unser Weltmeer bildet, ganz oder grösstentheils als hocherhitzter Wasserdampf in der Atmosphäre schweben und einen kolossalen Druck (man kann ihn vielleicht nach der durchschnittlichen Tiefe des Weltmeeres annähernd berechnen) auf die flüssigen Gesteinsmassen ausüben musste. Aus diesem Drucke würde sich aber ergeben, dass hocherhitztes flüssiges Wasser, vielleicht glühendes Wasser, sich mit jenen Gesteinsmassen mischen musste. Man kann nun der weiteren Folgerung gar nicht entgehen, dass dies Wasser bei der endlich erfolgenden Erstarrung der breiigen mineralischen Massen einen bedeutenden Einfluss ausgeübt haben muss. So würde man bei der konsequenten Durchführung der plutonistischen Hypothese der Erdbildung zu einem Erstarrungsprozess der Urgebirgsarten gelangen, der ebensoviel Ähnlichkeit mit der Vorstellung der Neptunisten von diesem Vorgang hat als mit der gewöhnlichen der Plutonisten. Es erscheint sogar auf der Basis dieser Vorstellung eine Vereinigung der Anschauungen beider Richtungen über die Entstehung mancher Gesteinsarten möglich. Vielleicht ist die gleichzeitige Anwesenheit von einer sehr hohen Temperatur und von flüssigem Wasser bei Entstehung des Granits der Grund dafür, dass die Gestaltung dieses Gesteins in mancher Hinsicht einer wässrigen Ausscheidung ähnlicher sieht als einer feurig-flüssigen. Es wären gewiss viele der Widersprüche zu heben, die in der Geologie über feurig-flüssige oder die wässrige Ausscheidung eines Gesteins bestanden haben und noch bestehen, wenn man sich immer wieder vergegenwärtigte, dass die gleichzeitige Anwesenheit beider verflüssigenden Prinzipien bei dem früheren Zustand der Erde möglich, ja sogar wahrscheinlich ist, während unsere Beobachtungen von heutzutage in der Natur wie im Laboratorium unter so niedrigen Pressionen angestellt sind, dass beide Prinzipien sich gegenseitig auszuschliessen scheinen, sich überall als entgegengesetzt gegenüberstehen und sogar die blosse Vorstellung von glühendem flüssigem Wasser den Gedanken der Unmöglichkeit erweckt.

Bildungen, zu denen auch die Ackerkrume gehört, und welche nach den plutonistischen sowohl als den neptunistischen Anschauungen in gleicher Weise erfolgt. Der *Neptunismus* nimmt dann nur wieder eine regelmässig erfolgende Rückbildung der geschichteten Gesteine in Massengesteine an, wie sie in einzelnen Fällen ja als erwiesen anzusehen ist*), eine Art Kreislauf der Gesteine, während nach den herrschenden *plutonistischen* Anschauungen der Verwitterungsprozess in der jetzigen Erdpoche allein eine bedeutende Rolle spielt und die Oberfläche unseres Planeten in einer ganz bestimmten Richtung kontinuierlich abgeändert wird.

Wir können diese zahlreichen z. T. noch bestehenden Streitfragen beiseite liegen lassen und uns in unsern geologischen Betrachtungen darauf beschränken, jenen Umwandlungsprozess der krystallinischen Massengesteine in andere Bildungen, der im wesentlichen ein Prozess der Verwitterung ist und in Bezug auf den die Ansichten der verschiedenen Richtungen, wie gesagt, nicht auseinandergehen, ins Auge zu fassen. Das Problem, wie jene krystallinischen Gesteine Entstehung genommen haben, — ob wir es in denselben noch mit Überresten der einst flüssigen Gesteinsmassen oder schon mit sekundären Umwandlungsprodukten derselben zu thun haben, ob im ersteren Falle dabei hochoverhitztes, aber flüssiges Wasser mitgewirkt hat, oder ob wir uns jene Annahme zu machen überhaupt nicht für berechtigt halten — soll uns hier als ausserhalb unserer Aufgabe liegend ganz und gar nicht beschäftigen.

Wenn wir uns nun zur besseren Übersicht der chemischen Zusammensetzung und der näheren geognostischen Gruppierung der Massengesteine einer gewissen Einteilung bedienen, so verfolgen wir damit nur jenen einen Zweck und sagen ganz und gar nichts aus über eine etwaige gemeinschaftliche Entstehungsweise solcher Gesteine. Wir werden uns sogar nicht scheuen, wo es passend erscheint, Gebirgsarten unter diesen Massengesteinen mit aufzuführen, bei denen es nach neueren Erfahrungen sehr wahrscheinlich geworden ist, dass sekundäre Prozesse bereits ihre Einflüsse auf dieselben geltend gemacht haben; wir werden dies thun, weil es unmöglich erscheint, nach jenem Grundsatz eine wirklich scharfe Grenze zu ziehen. — Genug, wir gehen zu chemischen und mineralogischen Betrachtungen dieser Massengesteine über.

Kieselsäure ist der vorwiegende Bestandteil aller krystallinischen Massengesteine, und es giebt deren keines, das nicht wenigstens nahezu zur Hälfte seiner Masse aus dieser Säure bestände. Der Gehalt an derselben schwankt in den verschiedenen Gesteinen etwa zwischen $\frac{1}{2}$ und $\frac{3}{4}$ der ganzen Masse. Ausserdem sind Thonerde 10—20 %, Eisenoxyd oder -oxydul, Manganoxydul, Kalk, Magnesia, Kali und Natron in geringeren und wechselnden Mengen regelmässige Bestandteile aller dieser Gesteine.

Je nach ihrem relativen Gehalt an diesen einzelnen chemischen Bestandteilen zerfallen die verschiedenen Massengesteine in zwei natürliche Unterabteilungen, die

*) Z. B. den Übergang von Thonschiefer in krystallinische Schiefer u. Gneise, vielleicht selbst in Granit. In dieser Beziehung sind namentlich die Untersuchungen von Daubrée von Wichtigkeit, welche zeigen, dass bei 400° bei Anwesenheit von Wasser Kieselsäure in der Form von Quarz sich ausscheiden kann. Vergl. Neumayr: Erdgeschichte, 1890, I, p. 606.

zwar nicht ganz scharf gegeneinander abgegrenzt sind, doch aber im allgemeinen sich wesentlich durch gleichartige Merkmale voneinander unterscheiden. Die eine Gruppe ist *reich an Kieselsäure*, und die Gesteinsarten, die derselben angehören, können als *saure Silikate* bezeichnet werden. Die andere Gruppe ist verhältnismässig *arm an Kieselsäure*, und die hierhin gehörigen Gesteinsarten kann man als *basische Silikate* bezeichnen. Die erstere Gruppe enthält *geringe Mengen von Eisen, Kalk, Magnesia*, letztere *grössere Mengen* dieser Stoffe. Jene ist *reicher an Alkalien*, diese in der Regel *alkaliärmer*. Beide Gruppen verhalten sich demgemäss bei dem Verwitterungsprozess, der, wie gesagt, als ein wesentliches Moment bei der Bildung der Ackerkrume angesehen werden muss, verschieden und liefern auch Böden, welche hinsichtlich der Bestandteile, die sie der Pflanzenernährung zur Verfügung stellen, häufig recht verschieden sind.

Die erste Gruppe von saurem Charakter, *Acidite (Cotta)*, die auch wohl als die der *kieselthon-alkalischen Gesteine* bezeichnet worden ist, umfasst folgende bekanntere Gebirgsarten unter sich:

Granit, Gneis (Glimmerschiefer); Porphyry (Pechstein) und Trachyt.

Die zweite Gruppe von mehr basischem Charakter, *Basite (Cotta)*, die auch wohl als die der *kiesel-eisen-kalkigen Gesteine* bezeichnet worden ist, umfasst folgende bekanntere Gebirgsarten in sich:

*Gabbro, Syenit, Diorit, Diabas; Melaphyr und Basalt (Dolerit).**

Die chemische Zusammensetzung beider Gruppen schwankt, wenn wir den noch kieselssäurereichen Glimmerschiefer in der ersten Gruppe ausser Berechnung lassen, zwischen den angegebenen Zahlen:

	I	II
Kieselsäure	63—77 %	42—62 %
Thonerde	10—21 "	10—19 "
Eisenoxyd (-oxydul)	1—6,7 "	6,7—17 "
Kalk	0,1—3,9 "	4,6—15 "
Magnesia	0,1—1,5 "	1,1—11 "
Kali	1,3—8 "	0,3—3,8 "
Natron	0,4—9 "	0,2—4,6 "
Wasser	0,4—1,5 "	0,6—3,3 "

*) Diese Einteilung, die weiter keine Theorie in sich schliesst, ist wesentlich identisch mit derjenigen, die Bunsen seiner Zeit auf die damals zulässig erscheinende Annahme gründete, dass wenigstens alle vulkanischen Gesteine als Gemische zweier der chemischen Zusammensetzung nach äussersten Endglieder angesehen werden könnten resp. angesehen werden sollten. Diese Endglieder wurden dann als normal-trachytische und normal-pyroxenische Gesteine bezeichnet. Obgleich nun die zu Grunde liegende Hypothese der Bildung aller jener Gebirgsarten aus zwei feurig-flüssigen „Mutterlaugen“ des Erdinnern, namentlich wegen sehr ungenügender Übereinstimmung der Berechnung, fallen gelassen werden musste, so würde doch die Annahme jener beiden Endglieder mit der hier gemachten Unterscheidung ungefähr praktisch koinzidieren. Das normal-trachytische Gestein würde zugleich das äusserste Glied unserer ersten Gruppe, das normal-pyroxenische das unserer zweiten Gruppe sein. — Von dem übrigen geologischen Charakter als Tiefengesteine und Ergussgesteine der Gebirgsarten und der damit in Beziehung stehenden Theorie ihrer Bildung schweigen wir für diese Darstellung. Doch sind die ersteren in beiden Aufzählungen zuerst genannt und von den letzteren durch ein Semikolon abgeschieden worden.

Die angegebenen Zahlen werden zur Genüge das vorher über die Zusammensetzung Gesagte bestätigen. Wir können uns indessen mit diesen allgemeinen Angaben über die Bestandteile der verschiedenen Gesteine auch für unsern Zweck nicht begnügen, da jene Gruppe trotz jener Gemeinsamkeit der Charaktere der in ihnen enthaltenen Gesteine doch noch ziemlich Verschiedenes umschliesst. Wir teilen daher aus jeder Gruppe eine kleine Anzahl von Einzelanalysen mit, die zugleich eine brauchbare Vorstellung geben von den durchschnittlich zu erwartenden Abweichungen.

Kiesel-thon-alkalische Gesteine ¹⁾.

	Granit ²⁾		Gneis ³⁾		Glimmersch. ⁴⁾	Porphyr ⁵⁾	Trachyt ⁶⁾
	I.	II.	I.	II.			
Kieselsäure	72,6 ⁰ / ₁₀₀	68,6 ⁰ / ₁₀₀	67,3 ⁰ / ₁₀₀	74,5 ⁰ / ₁₀₀	79,5 ⁰ / ₁₀₀	75,8 ⁰ / ₁₀₀	64,2 ⁰ / ₁₀₀
Thonerde	15,6 „	14,4 „	16,1 „	15,2 „	13,4 „	13,2 „	17,0 „
Eisenoxydul	1,5 „	5,0 „	4,5 „	1,9 „	Fe 3,9 „	1,2 „	Fe 6,7 „
Kalk	1,3 „	3,9 „	3,9 „	1,1 „	0,7 „	1,0 „	0,5 „
Magnesia	0,3 „	0,4 „	1,5 „	0,6 „	1,0 „	0,5 „	0,2 „
Kali	5,0 „	2,8 „	5,1 „	4,6 „	4,7 „	7,9 „	4,4 „
Natron	2,3 „	3,4 „	3,0 „	2,9 „	0,4 „	—	5,1 „
Wasser	0,8 „	1,1 „	0,4 „	—	0,8 „	0,6 „	1,0 „

Kiesel-eisen-kalkige Gesteine.

	Syenit ⁷⁾	Diorit ⁸⁾	Diabas ⁹⁾	Melaphyr ¹⁰⁾	Dolerit ¹¹⁾		Basalt ¹²⁾
					I.	II.	
Kieselsäure	58,1 ⁰ / ₁₀₀	54,7 ⁰ / ₁₀₀	50,1 ⁰ / ₁₀₀	59,2 ⁰ / ₁₀₀	51,8 ⁰ / ₁₀₀	48,2 ⁰ / ₁₀₀	45,9 ⁰ / ₁₀₀
Thonerde	17,7 „	15,7 „	16,4 „	15,1 „	14,2 „	10,2 „	16,2 „
Eisenoxydul	8,3 „	8,1 „	12,8 „	Fe 14,7 „	16,0 „	13,6 „	13,0 „
Kalk	5,8 „	7,8 „	6,7 „	4,6 „	7,9 „	14,6 „	10,3 „
Magnesia	2,1 „	5,9 „	4,4 „	1,5 „	4,7 „	7,4 „	6,3 „
Kali	3,2 „	3,8 „	1,5 „	1,7 „	1,5 „	3,7 „	1,2 „
Natron	3,0 „	2,9 „	4,6 „	3,0 „	3,7 „	1,0 „	3,6 „
Wasser	1,3 „	1,9 „	2,4 „	1,6 „	0,8 „	1,9 „	2,4 „

¹⁾ Diese Analysen sind grossenteils Girard's Bodenkunde entnommen.

²⁾ Fundort des Granit I. zu Heidelberg, des Granit II. in Irland.

³⁾ Fundort des Gneis I. Brasilien, des Gneis II. Sachsen.

⁴⁾ Schweiz.

⁵⁾ Harz.

⁶⁾ Siebengebirge.

⁷⁾ Tirol.

⁸⁾ Harz.

⁹⁾ Christiania.

¹⁰⁾ Thüringer Wald.

¹¹⁾ I. Hessen, II. Baden.

¹²⁾ Linz.

Diese Analysen mögen ungefähr eine Vorstellung geben von den Abweichungen, welche die einzelnen, den beiden Gruppen untergeordneten, Gesteine von den Durchschnittsnormen zeigen; doch dürfen die Zahlen keineswegs als Mittelzahlen angesehen werden.

Allein um irgend eine Anschauung davon zu gewinnen, welche Veränderungen die verschiedenen Gebirgsarten bei der Verwitterung, die wir als ein Moment der Bodenbildung bezeichnet haben, erleiden, müssen wir uns einigermaßen mit der näheren Gruppierung der einzelnen aufgefundenen chemischen Bestandteile jener Gesteine bekannt machen, d. h. neben dem chemischen Charakter der Gebirgsarten auch deren mineralogischen Charakter ins Auge zu fassen suchen.

Die erste Gruppe der kiesel-thon-alkalischen Gesteine hat folgende engere mineralogischen Bestandteile: Quarz, d. i. die krystallinisch ausgeschiedene unverbundene Kieselsäure, und von Silikaten, soweit sie für die einzelnen Gesteine charakteristisch sind: Feldspat (Orthoklas, Sanidin, Oligoklas) und Glimmer. Wir werden sogleich etwas näher auf die Zusammensetzung und die Eigenschaften dieser Mineralien eingehen.

Die andere Gruppe der kiesel-eisen-kalkigen Gesteine hat niemals freie ausgeschiedene Kieselsäure als charakteristischen Gemengteil, sondern nur je nach der Gesteinsart die Silikate: Feldspat (Oligoklas, Labrador), Augit (Hypersthen, Pyroxen, Diallag) und Hornblende.

Je nachdem nun diese einzelnen Mineralien zusammentreten, bilden sich die verschiedenen Gesteinsspezies. — Allgemein über die Regeln, nach denen dieser Zusammentritt erfolgt, lässt sich sagen, dass die Gesteine der ersten Gruppe samt und sonders *Alkalifeldspat*, d. h. Orthoklas, Sanidin (d. i. ein glasiger Feldspat von der gleichen Zusammensetzung des Orthoklas) oder Oligoklas, dass die Gesteine der zweiten Gruppe samt und sonders *Hornblende* oder *Augit* in sich enthalten. Dies ist ein ganz ausreichendes Merkzeichen, das auch schon Eigenschaften und Zusammensetzung der Gesteine beider Gruppen ziemlich erklärt.

Granit und *Gneis* bestehen ihren näheren mineralogischen Gemengteilen nach aus Quarz, Glimmer, Kalifeldspat (Orthoklas) in verschiedenen Verhältnissen; und eben diese letzteren sind es neben einigen Strukturverhältnissen, auf die sich die Unterscheidung der zwei Gesteine gründet. Der Granit ist etwas feldspatreicher (60—80 %) als der Gneis (50—70 %), bei welchem letzteren die beiden anderen Gemengteile mehr hervortreten. Beim *Glimmerschiefer* endlich ist der Feldspat fast ganz und gar verschwunden, und derselbe besitzt als wesentliche Gemengteile nur noch Quarz und Glimmer. Derselbe bildet ja aber auch schon den Übergang zu den deutlich geschichteten Gesteinen.

Der *Porphyr* ist im wesentlichen ein inniges Gemenge von Orthoklas (resp. Kalinatronfeldspat) und Quarz; — Glimmer ist nur noch gelegentlicher Gemengteil.

Die Grundmasse des *Trachyts* ist Sanidin mit oder ohne Oligoklas, daneben gelegentlich auch andere mineralogischen Bestandteile wie Glimmer und Augit. Viele Trachyte, die sogenannten *Quarztrachyte*, besitzen auch noch Quarz als regelmässigen Bestandteil und kommen dann in ihrer chemischen Zusammensetzung beinahe völlig mit dem Granit überein. —

Man kann also in Bezug auf die nähere mineralogische Zusammensetzung der Gesteine der ersten Gruppe sagen, dass sie neben Alkalifeldspat, welcher Bestandteil allerdings bei dem Glimmerschiefer beinahe ganz verschwindet, je nach der Gesteinsart hauptsächlich Quarz und Glimmer in sehr verschiedenen Mengen enthalten.

Nun zu der spezielleren Zusammensetzung der Gesteine jener zweiten Gruppe. — Der *Syenit* besteht im wesentlichen aus Alkalifeldspat (Orthoklas, seltener Oligoklas) und Hornblende, die letztere zuweilen nur durch Glimmer ersetzt, im *Diorit* ist der feldspatige Gemengteil Oligoklas, daneben wieder Hornblende und Magnesiaglimmer und häufig viele andere minder regelmässige Gemengteile. Die anderen Gesteine derselben Gruppe enthalten als charakteristischen Gemengteil stets Augit. Der *Diabas* ist ein Gemenge von diesem mit Labrador und Natronfeldspat. Ganz ähnlich ist auch der mehr schwärzlich gefärbte Gabbro*) konstituiert. Der *Melaphyr* enthält Oligoklas oder einen ähnlich zusammengesetzten Feldspat und Augit, daneben in kleineren Mengen den Olivin, ein Magnesia-Eisensilikat; doch ist die Definition dieser Gesteinsspezies noch schwankend. *Dolerit* und *Basalt* bestehen wesentlich aus Oligoklas (oder Labrador) und Augit; ersterer ungefähr zu gleichen Teilen und in gröberen Stücken, letzterer enthält die Gemengteile vorherrschend in sehr feinen Krystallen, zugleich auch regelmässig geringe Mengen magnetischen Eisenerzes und andere Einschlüsse wie Olivin. Dolerit besitzt ebenso wie Melaphyr sehr häufig die sogenannte Mandelsteinstruktur, hervorgerufen durch versteinte Gasblasen, welche die eruptive Natur dieser Gesteine bekunden.

Diese Gesteine enthalten also neben Augit oder Hornblende, die nahe verwandt miteinander sind, einen feldspatartigen Gemengteil, Orthoklas oder Oligoklas, die jene in Zusammensetzung und Eigenschaften der ersten Gruppe nähern, oder den Labrador, der sie noch mehr zu alkaliarmen, aber kalkreicheren Gesteinsarten macht.

Wir werden den Überblick über die Natur aller dieser verschiedenen Gesteine weiter vervollkommen, wenn wir die chemische Zusammensetzung und das Verhalten dieser wenigen charakteristischen Gemengteile, auf die sich die mineralogische Konstitution aller jener wichtigeren Gebirgsarten zurückführen lässt, uns noch einzuprägen suchen. Vor allem haben wir die feldspatartigen Mineralien, auf der einen die Hornblende und die Augite auf der anderen Seite, bezüglich ihrer Zusammensetzung zu prüfen. Wenn man eine grössere Anzahl der *Alkalifeldspate* der verschiedensten Fundorte hinsichtlich ihrer Zusammensetzung vergleicht, so kommt man ungefähr zu folgenden Variationen**):

	Kalifeldspat (Orthoklas, Sanidin).	Natronfeldspat (Oligoklas).
Kieselsäure	65,6—67,0 %	62,0—63,9 %
Thonerde	16,5—20,9 "	21,2—23,9 "
Eisenoxyd	0,9— 1,6 "	0— 2,5 "
Kalk	0,1— 1,5 "	1,1— 3,5 "
Magnesia	0,2— 0,9 "	0,6— 0,8 "
Kali	7,9—12,8 "	1,2— 4,3 "
Natron	2,0— 4,6 "	5,9— 9,5 "

*) Derselbe enthält eine Modifikation des Augits, den Diallag.

**) Dass diese und andere Mineralien bei der Analyse so wenig feste Zahlen liefern, wie

Die Zusammensetzung beider Alkalifeldspate ist, wie die Vergleichung lehrt, durchweg ganz ähnlich; nur sind die beiden Alkalien ungleichartig verteilt, weshalb auch die beiden Mineralien als Kalifeldspat und Natronfeldspat voneinander unterschieden werden. Ausserdem ist der höhere Kieselsäuregehalt für den Kalifeldspat durchaus charakteristisch.

Die andern Mineralien, die neben diesen beiden in der ersten Gruppe der Gesteinsarten vorkommen, sind *Quarz* und *Glimmer*, der erstere mehr oder minder reine Kieselsäure, der andere ein Silikat, das sich durch seinen grossen Kaligehalt (5,6—9,5 %) auszeichnet, in manchen Varietäten auch grosse Mengen von Magnesia enthält, aber so ausserordentlich schwer durch Verwitterung zersetzbar ist, dass seine nähere Zusammensetzung für uns von keinem Interesse ist. Der Glimmer wird bei der Umformung der Gebirge und bei der Bodenbildung ebenso wie der krystallinische Quarz eine Rolle spielen als mechanischer Gemengteil, weniger als Sitz chemischer Umsetzungen, ganz im Gegensatz zu den feldspatartigen Mineralien, die verhältnismässig leicht verwittern und deshalb auch als chemisches Element der Bodenbildung in ihrer Zusammensetzung eine genaue Berücksichtigung verdienen.

Demgemäss erhalten dann die verschiedenen Gesteine der ersten Gruppe eine ausserordentliche Ähnlichkeit untereinander in Bezug auf ihre Zersetzungsercheinungen bei der Verwitterung. Überall ist das feldspatartige Gesteinselement Sitz dieser chemischen Umwandlungen, und die Gesteinsarten verhalten sich beinahe nur insofern verschieden, als der feldspatige Gemengteil bald mehr bald weniger in den Vordergrund tritt, oder als derselbe vorwiegend Kali- oder Natronfeldspat ist. Auf diese Weise wird die Zusammengehörigkeit jener Gesteine der ersten Gruppe noch mehr in die Augen springend als durch Vorführung der Pauschanalyse, wo verwitterbare und unverwitterbare Gesteinselemente mit voller Gleichberechtigung auftreten.

Nicht ganz so einfach gestaltet sich das Resultat der analogen Betrachtung für die andere Gruppe. Wir haben dort neben feldspatartigen Mineralien *Augit* oder *Hornblende* als durchgehend charakteristischen Gemengteil kennen gelernt. Die Zusammensetzung dieser Mineralien wird uns daher vor allem interessieren. Dieselbe bewegt sich nach einer Reihe von vorliegenden Analysen ungefähr in den angegebenen Grenzen.

	Hornblende.	Augit (Hypersthen, Pyroxen).
Kieselsäure	40,3—43,8 %	47,4—51,8 %
Thonerde	9,3—16,4 „	0,4— 8,1 „
Eisenoxyd	—	0— 5,8 „
Eisenoxydul	15,3—21,8 „	7,8—21,3 „
Kalk	12,1—13,8 „	3,1—20,0 „
Magnesia	11,7—13,4 „	12,8—21,3 „
Kali	—	—
Natron	—	—

wir sie sonst bei der Analyse von chemischen Individuen zu finden gewohnt sind, liegt teilweise in der erst durch die Anwendung der Dünnschliffe in seiner vollen Tragweite zur Anschauung gekommenen Unreinheit der krystallisierten Mineralien, andererseits im Isomorphismus verschiedener Basen, deren Salze mit- und durcheinander sich ausscheiden und Krystalle bilden.

Es zeigt sich auf den ersten Blick, dass die Zusammensetzung dieser beiden Mineralien eine grosse Ähnlichkeit unter sich selber bietet und dass sie von jenen feldspatartigen ausserordentlich verschieden ist. Ja, jene chemische Übereinstimmung beider ist so gross, dass es unter Umständen gelingt, Hornblende durch einfaches Schmelzen und Wiedererkaltenlassen in Augit zu verwandeln (G. Rose). Die Alkalien sehen wir in diesen Mineralien bis zum völligen Verschwinden zurücktreten; dagegen finden wir grosse Mengen alkalischer Erden vor, namentlich auch von Magnesia und dann von Eisenoxydul. Der gemeinschaftliche Gehalt der zweiten Gesteinsgruppe an einem dieser beiden Mineralien stempelt sie in der That zu den kiesel-eisen-kalkigen Gesteinen.

Als zweiten wesentlichen Gemengteil dieser Gesteine treffen wir aber teilweise einen Alkalifeldspat, namentlich im Syenit, Diorit und Melaphyr; und diese Gesteine müssen sich auch deshalb ihrem Verhalten bei Verwitterung oder Bodenbildung nach der ersten Gruppe nähern; oder sie enthalten neben Augit oder Hornblende noch *Kalkfeldspat* (Labrador) wie der Diabas; und da der Labrador nicht zu den Mineralien gerechnet werden kann, die der Verwitterung absoluten Widerstand entgegenzusetzen, so müssen wir auch seine Zusammensetzung kurz ins Auge fassen.

Labrador.

Kieselsäure	52,2—53,7 %,
Thonerde	26,7—29,2 „
Eisenoxyd	1,8— 3,5 „
Kalk	8,6—13,1 „
Magnesia	0,4— 0,9 „
Kali	0,6— 1,5 „
Natron	1,4— 5,0 „.

Wir haben es also in dem Labrador mit einem Mineral zu thun, das sich den Alkalifeldspaten einigermaassen in der Zusammensetzung nähert, nur ärmer an Kieselsäure (auf 1 Äquivalent Basen nur halb so viel Kieselsäure als der Orthoklas, $\frac{2}{3}$ so viel als der Oligoklas), etwas reicher an Thonerde ist und, was für uns von besonderem Interesse ist, an der Stelle von grossen Mengen von Alkalien, Kalk besitzt. Der Labrador wird von den Mineralogen den Feldspaten zugezählt und wir haben von dieser Bezeichnung bereits Gebrauch gemacht.

Der Charakter der Gesteine, die an der Stelle eines andern feldspatigen Gemengteils diesen kalkreichen Feldspat, den Labrador, enthalten, ergibt sich nun von selbst. Dieselben besitzen zwar in diesem letzteren Bestandteil eine Quelle für die geringen Mengen von Alkalien, welche auch in diesen Gesteinen regelmässig angetroffen werden; allein sie werden namentlich an Kali (weniger an Natron, da es Übergänge vom Kalkfeldspate zu dem Natronfeldspate giebt) durchschnittlich viel ärmer bleiben müssen als der alkalifeldspathaltige Syenit, viel reicher an Kalk sein als dieser u. s. f.

Ausnahmen bei einzelnen Gesteinsvarietäten, die dennoch aus geognostischen Gründen den von uns acceptierten Gesteinsarten zugerechnet werden, kommen natürlich bis zu den gewissen Grenzen vor, da mannigfache Vertretungen der einzelnen Gemengteile innerhalb jener Arten nicht ausgeschlossen sind. So giebt es sehr kaliarme Syenite, wenn der vorhandene Feldspat sehr kaliarmer Oligoklas ist, kalireiche

Dolerite, wenn noch andere Gesteinselemente*), die in vielen Fällen noch gar nicht mineralogisch bestimmt werden konnten und über welche jetzt erst die mineralogischen Dünnschliffe mehr und mehr Auskunft geben, sich einschleichen. Man darf überhaupt nicht glauben, durch diese Betrachtungen strenggültige Regeln für die chemische Zusammensetzung der Gesteine zu erhalten. Die Gesteinsart, auf welchen Begriff wir uns allein beziehen konnten, ist durchaus nicht, namentlich nicht vom chemischen Standpunkt aus, eine so feststehende Grösse, dass man ganz untrügliche Regeln für deren Verhalten bei der Verwitterung, der Bodenbildung und endlich bei Ernährung der Pflanze geben könnte.

Wir haben noch von der Zugänglichkeit der mineralogischen Gemengteile der Gesteine der zweiten Gruppe für die Verwitterung einige Worte zu sagen, ohne dass wir freilich hier schon auf den Chemismus jenes Prozesses einzugehen beabsichtigen. Schon aus dem Umstande, dass wir die Zusammensetzung aller dieser Gemengteile einer näheren Betrachtung unterworfen haben, konnte man schliessen, dass sich dieselben auch an dem Chemismus der Verwitterung beteiligen, nicht teilweise wie Quarz und Glimmer bloss durch ihre mechanischen Eigentümlichkeiten dabei in Betracht kommen; denn wir haben ja dem Grundsatz gehuldigt, bei Erörterung dieser etwas verwickelten Verhältnisse unser Gedächtnis nicht mit für unsern Zweck ganz unnötigem Ballast zu beschweren.

Die Verwitterung der Gemengteile geht durchschnittlich viel langsamer von statten als die der zuletzt behandelten Alkalifeldspate. Auch tauchen hier wieder neue Unterschiede auf für die etwas verschieden zusammengesetzten Untervarietäten einer und derselben Mineralspezies, wie z. B. der Augite. Wenn wir die Zersetzbarkeit aller der verschiedenen Gesteinselemente, mit denen wir zu schaffen haben, nebeneinanderstellen, so gelangen wir ungefähr zu folgendem Überblick. Der Oligoklas ist so ziemlich das leichtest zersetzbare Glied der ganzen Feldspatgruppe, doch ist der Kalifeldspat nicht viel schwerer verwitterbar; der Labrador dagegen zeigt sich meistens sehr widerstandsfähig. Beim Augit sind mindestens zwei Varietäten hinsichtlich ihres Verhaltens den atmosphärischen Einflüssen gegenüber wohl zu unterscheiden. Der gemeine Augit, der im Basalt vorkommt, wenig Kieselsäure, aber viel alkalische Erde und Thonerde enthält, ist leicht zersetzbar, während der blättrige Augit oder Hypersthen, für den das umgekehrte Verhältnis stattfindet, sich weit widerstandsfähiger zeigt; aber auch dieser erleidet unter den atmosphärischen Einflüssen eine raschere Umwandlung als der Labrador, wie bei der Verwitterung der Gesteine, welche beide als Gemengteile enthalten, beobachtet werden kann. Die Hornblende scheint schwerer angreifbar zu sein als der gemeine Augit.

Hierdurch sind nun die Hauptfelsarten der sog. Urgebirge für unsern Zweck hinlänglich charakterisiert. — Wir haben indessen noch einige Zusätze zu machen, auf die wir später wieder Bezug nehmen werden. Es ist bei der bisherigen Betrachtung, bei welcher wir überhaupt auf Pflanzennährmittel noch keine spezielle Rücksicht genommen haben, der Phosphorsäure und Schwefelsäure noch gar nicht

*) Hier ist namentlich der kalireiche Leucit als gelegentliches Gesteinselement zu erwähnen.

erwähnt worden, und beide werden doch regelmässig in einer jeden fruchtbaren Ackererde angetroffen; und auch in diese sind sie durchgehends nicht durch menschliche Kunstgriffe hineingebracht worden, wie denn das freudige Gedeihen der wildwachsenden Pflanzen, die doch auch notwendig phosphor- und schwefelhaltig sind, zur Genüge beweist, dass auch in den von Menschenhand unberührten Trümmern der Gesteinswelt, die wir mit dem Namen Ackerkrume belegen, stets schwefel- und phosphorhaltiges Material angetroffen wird; und wenn auch jene Trümmer nicht immer direkt durch Verwitterung jener Massengesteine ihre Entstehung nehmen, so ist dies doch, wie wir bald sehen werden, häufig und mittelbar immer der Fall. Wir haben also ein Recht, auch in jenen Gesteinsarten nach den genannten Stoffen auszuschauen. Für den Phosphor lässt sich nun angeben, dass er überall in jenen Massengesteinen in geringen Mengen vorhanden und nur von den Geognosten fast regelmässig übersehen worden ist. Alle Gesteine, die man in dieser Richtung mit scharfen Reagentien untersucht hat, zeigten eine wenn auch geringe, doch dem Gehalte des Bodens an diesem Stoffe nahezu entsprechende Menge von Phosphorsäure.

In folgenden, meistens sächsischen Gesteinen wurde, nachdem einmal die Agrikulturchemiker ihre Aufmerksamkeit auf diesen Gegenstand gelenkt hatten, gefunden*):

Im Granit (Hollsdorff)	0,58 ‰	Phosphorsäure
„ Granitsand (Burgstädt)	0,42—0,68 ‰	„
„ Quarzporphyr (**)	0,23 ‰	„
„ Gneis (Gerbisdorff)	0,78 „	„
„ Gneis (Tharand)	0,25 „	„
„ Thonsteinporphyr (v. ebenda)	0,43 „	„
„ Basalt (Landberg)	1,11 „	„
„ Melaphyr (Plauensch. Grund)	0,30 „	„
„ Syenit (v. ebenda)	0,18 „	„
„ Dolerit (***) (vom Kaiserstuhl)	0,03 „	„
„ Trachyt (von ebenda)	0,4—0,7 ‰	„

Der Gehalt aller dieser Gesteine an Phosphorsäure†) ist sehr beträchtlich, wenn man bedenkt, dass in fruchtbaren Ackererden oft von derselben kaum mehr als 0,1 ‰ angetroffen wird, und erklärt zur vollen Genüge den Ursprung dieses wertvollen Pflanzennährstoffs. Die Phosphorsäure scheint in diesen krystallinischen Gesteinen meistens an Kalk gebunden und zwar als Apatit, der z. B. in den Melaphyren häufig erkannt worden ist, aufzutreten, wie namentlich die Dünnschliffe mehr und mehr erkennen lassen.

Für den Schwefel scheint etwas ganz Ähnliches zu gelten; auch er wurde bei den meisten Mineralanalysen der Massengesteine völlig übersehen und, da man nach ihm suchte, wurden überall schwefelsaure Salze aufgefunden. Struve hat gezeigt,

*) Beinahe alle diese Angaben sind von A. Stöckhard gemacht worden. Vergl. Landw. Versuchsst., 1859, p. 178, und 1861, p. 105.

**) Zeitschr. d. geol. Gesellsch., XL, p. 203.

***) Diese letzteren Angaben von J. Nessler und E. Muth: Jahresber. f. Agrikulturch., 1870—72, p. 18.

†) Vergl. auch Gasparin: Ann. d. Landw., Monatsbl., 1870, p. 80.

dass man aus einer ganzen Reihe von böhmischen (dahin gehörigen) Gesteinen*) durch kohlensäurehaltiges Wasser unter hohem Druck schwefelsaures Kali oder auch schwefelsaures Natron ausziehen kann. Es ist ausserdem auf die in den krystallinischen Gesteinen vorkommenden schwefelhaltigen Erze hinzuweisen, namentlich auf den Schwefelkies (Schwefeleisen). An der Luft ist für diese Stoffe Gelegenheit gegeben zur Oxydation und Bildung von schwefelsauren Salzen, die sich dann leicht durch Quellen und Grundwasser auf weitere Strecken verbreiten können.

Alle übrigen feuerfesten Pflanzennährstoffe sind, wie die Analysen der krystallinischen Gesteine lehren, in denselben in erheblichen Mengen vorhanden und wie hinzugesetzt werden kann, fast durchweg in grösseren Mengen, als deren Anwesenheit in der Ackererde, sind sie nur in der passenden chemischen Form vorhanden, erfahrungsgemäss notwendig erscheint. Dies gilt am meisten für das Eisen, ebenso durchweg für das Kali und auch in der Regel für Kalk und Magnesia. Die letzteren beiden sinken in manchen Gesteinsarten der ersteren Gruppe, wie namentlich im Glimmerschiefer und manchen Trachytarten, oft bis zu sehr geringen Mengen (kleinen Bruchteilen von Prozenten) herab, Mengen, die wenigstens in Bezug auf den Kalk, der im Boden nicht allein die Rolle eines direkten Nährstoffs versieht, sondern noch manche anderen Funktionen, von denen wir später zu reden haben werden, daselbst vollzieht, als ungenügend für manche Kulturen angesehen werden müssen**). Wenn dagegen an Kali auf Böden, welche die Elemente jener krystallinischen Gesteine noch wesentlich intakt enthalten, durch eigentümliche Symptome ein Mangel beim Pflanzenwachstum sich geltend macht, so ist dies fast ausnahmslos nur in der ungeeigneten chemischen Form (Unlöslichkeit) des genannten Bestandteils zu suchen, da ein jeder der besprochenen Felsarten bedeutende Mengen von Kali enthält***), die das Vielfache sind von dem, was viele äusserst fruchtbare Böden einzuschliessen pflegen.

Zweite Vorlesung.

Die Entstehung der Ackererde. — Die Verwitterung. — Die Verschwemmung.

Wir haben in der ersten Vorlesung einen genügenden Überblick gewonnen über die Zusammensetzung der krystallinischen Massengesteine. Ein solcher ist von Wichtigkeit, weil diese Gesteine unmittelbar oder mittelbar das Material abgeben zu dem mineralischen Teil einer jeden Ackererde.

*) Untersucht wurden drei Phonolithe, mehrere Basalte, Porphyry von Teplitz, Gneis von Bilin und Granit von Karlsbad. Im oben erwähnten Quarzporphyrit waren 0,14% SO_3 , im Dolerit wurde bis 1,7% gefunden, in anderen Gesteinen dagegen oft viel weniger.

**) Vergl. in dieser Beziehung namentlich Risler: *Geologie agricole*, Paris 1884—89, worin mit vieler Gründlichkeit die Landwirtschaft der verschiedenen Distrikte Frankreichs zu deren geognostischen Verhältnissen in Beziehung gebracht ist.

***)) Dies gilt selbst für die kaliärmeren Basalte und Diabase; vergl. die mitgeteilten Analysen, p. 12.

Die festen Gesteine selbst sind nun aber in der Regel, und wohl nur mit Ausnahme einiger schon der Natur ihrer Entstehung nach fein gepulverten vulkanischen Gesteine, in ihrer unveränderten Form unbewohnbar für alle höheren Pflanzen, schon bloss ihres mechanischen Zusammenhalts wegen, der jeder Wurzel den Eintritt wehrt. Nur die genügsame Flechte, deren Haftorgane durch saure Ausscheidungen für eine ärmliche Nahrung zu sorgen scheinen, bewohnt den unwirtlichen nackten Fels, dessen monotones Aussehen durch bunte Zonen jeglicher Farbe belebend.

Zur Bildung eines auch nur erträglichen Bodens aus diesem widerstandsfähigen Materiale ist daher mindestens das Hinzutreten *eines* neuen Moments erforderlich, das der *Verwitterung*, welche die oberflächliche Felsschicht erst in grobe und dann immer in feinere und feinere Stücke schlägt. Das gleiche Moment muss auch der Bildung der Flözgebirgsarten aus jenen Massengesteinen, von deren Dasein wir bis jetzt allein unterrichtet sind, vorhergehen. Nur tritt in diesem Falle noch ein zweites Moment hinzu; und deshalb wollen wir jenen ersten Fall der Bildung von sogenannten „ursprünglichen“ oder Verwitterungsböden, d. h. noch nicht von der Stätte ihrer Entstehung hinweggeschwemmten Böden, aus jenen krystallinischen Gesteinen als einfacheren zuerst ins Auge fassen.

Wir betrachten also den Fall, dass eine zu Tage tretende Felsart der beiden behandelten Gruppen allen atmosphärischen Einflüssen der Verwitterung ausgesetzt sei, aber der ganze Prozess an einem Orte vor sich gehe, wo keine erhebliche Gelegenheit zur örtlichen Trennung der entstandenen Verwitterungsprodukte geboten und höchstens den durchsickernden Wässern und den in diesen löslichen Stoffen freier Abzug gestattet sei. Erst von diesem einfacheren Falle werden wir dann zu dem komplizierteren übergehen, der eine Hinwegschwemmbarkeit der Verwitterungsprodukte voraussetzt. In Bezug auf die dahin gehörigen Erscheinungen weichen, wie schon hervorgehoben wurde, die Anschauungen der verschiedenen geologischen Richtungen durchaus nicht voneinander ab.

Die atmosphärischen Einflüsse, welche eine Verwitterung der festen blossgelegten krystallinischen Gesteinskruste der Erdoberfläche bewirken, sind zweierlei Natur, *chemisch* und *physikalisch wirkende*. Die letzteren sind in der Art ihrer Wirkung sehr allgemein bekannt, und es brauchen über dieselbe an dieser Stelle nur einige Worte gesagt zu werden.

Der abwechselnden Hitze und Kälte, dem oft sehr plötzlichen Wechsel der Temperatur, welchem alle an der Erdoberfläche befindlichen Körper ausgesetzt sind, wird wegen der damit verbundenen ungleichmässigen Volumänderung der sehr ungleichmässig erwärmten und überdies nicht homogenen Gesteinsmassen ein erheblicher Einfluss auf die Lockerung des Gefüges derselben zugeschrieben. In der That sind die krystallinischen Massengesteine, wie wir sie in der ersten Vorlesung näher ins Auge gefasst haben, samt und sonders ihrer Struktur nach Gemenge zweier oder mehrerer Mineralspezies, welche sich im allgemeinen und namentlich in verschiedenen Richtungen in verschieden hohem Grade ausdehnen, wenn man sie einer gleichartigen Temperaturveränderung aussetzt. — Indessen sehen wir viele unserer krystallinischen Gesteine diesem Einfluss einen sehr bedeutenden Widerstand entgegensetzen, und das in Rede stehende Moment der mechanischen Verwitterung ist zweifelsohne vielfach über-

schätzt worden. Ich brauche nur an die altägyptischen Bauwerke zu erinnern, deren Oberfläche schon Jahrtausende den genannten Einflüssen vollständig getrotzt hat, z. B. an den leicht zugänglichen Granit-Obelisken, den Napoleon I. auf der „Place de la Concorde“ in Paris aufgestellt hat.*) Es ist sogar mit Bestimmtheit hervorzuheben, dass ein Teil jener krystallinischen Felsarten trotz jener Theorie der ungleichartigen Ausdehnung, vermutlich infolge einer erheblichen Elastizität der sie konstituierenden Mineralien, den Wärmedifferenzen vollkommen zu trotzen versteht, und vorderhand muss dieses Verwitterungsmoment als ein in den meisten Fällen problematisches angesehen werden.

Eine mechanische Zersetzung soll ferner eingeleitet werden durch das *beim Gefrieren sich sehr erheblich ausdehnende Wasser*, welches, in die Gesteinsritzen eindringend, diese erweitert und so zur Zerkleinerung der Felsmassen erheblich beiträgt. Es ist unmöglich, diesen Einfluss zu leugnen, denn unsere tägliche Erfahrung lehrt, dass dem Wasser beim Gefrieren diese Wirkung zukommt und dass dasselbe sogar offene Flaschen auf solche Weise zu zersprengen vermag. Allein es ist daran zu erinnern, dass vorher Spalten und Risse im Felsen vorhanden sein müssen, damit das gefrierende Wasser diese Wirkung geltend machen kann, dass ferner auf grossen Strecken der Erdoberfläche der Frost eine unbekannte Erscheinung ist und nicht als Verwitterungsmoment herangezogen werden kann. Jedenfalls ist eine eigentliche Pulverisierung auf diesem Wege nicht denkbar, es seien denn schon chemische Wirkungen vorausgegangen, und selbst dann nur eine Zerteilung in die gröberen Mineraltrümmer.

Als drittes rein mechanisches Verwitterungsmoment wäre noch etwa *die Kraft des fallenden Regenwassers* zu nennen. „Der fallende Tropfen höhlt den Stein aus.“ Dieser Erfahrungssatz dient als Sprichwort, um uns eine Vorstellung der Macht der Zeit zu geben, in der auch sehr kleine Kräfte zur erheblichen Wirkung gelangen können. Aber gerade dieser Gebrauch des vorstehenden Satzes beweist uns, dass wir es mit einer in kurzen Zeiten sehr geringfügigen Kraft zu thun haben.

Aus dieser ganzen Darstellung erhellt, dass bei der beginnenden Verwitterung, wenigstens wenn keine Ortsveränderung des zertrümmerten Materials erfolgt, *mechanische Kräfte* keine sehr grosse Rolle spielen, denn andere Kräfte dieser Art stehen unter den angenommenen Umständen unseres Wissens nicht mehr zu Gebote. Erst wenn es sich später um die Weiterschleppung des teilweise zerkleinerten Gesteins nach tiefergelegenen Stellen der Erdoberfläche handelt, werden wir auch diese physikalischen Kräfte in Wirksamkeit sehen und emsig zur weiteren Pulverisierung jenes beitragen.

Die *chemischen Kräfte* indessen sehen wir gleich von Anfang an eine grosse Rolle bei dem Verwitterungsprozesse spielen, und wenn wir es nun unternehmen, deren Wirksamkeit unserem Verständnisse zugänglich zu machen, so müssen wir einerseits die chemischen Mittel, welche die Atmosphäre zur Vornahme von Zersetzungen besitzt, andererseits das diesen Eingriffen unterworfenen Material, die ver-

*) In Ägypten selber sind die Bauwerke noch viel besser konserviert, da wir sehen werden, dass Feuchtigkeit einen so grossen Einfluss auf den Verwitterungsprozess hat. Vergl. auch E. W. Hilgard: Forsch. a. d. Geb. d. Agrikulturphys., 1893, p. 82.

witterbaren Gesteinselemente, näher ins Auge fassen und die Reaktionen studieren, die sich zwischen beiden Kontrahenten dieses Verwitterungsprozesses abwickeln.

Der Atmosphäre stehen folgende chemischen Kräfte zu Gebote: Der *Sauerstoff der Luft*, der gewöhnliche wie der „aktive“, das Ozon, welcher manche Bestandteile des Gesteins, die verhältnismässig sauerstoffarm sind — ich erinnere an das vielfach in den vorgeführten Analysen figurierende Eisenoxydul — zu verändern strebt, ferner die *Kohlensäure der Luft*, die *Meteorwässer* als solche und die *in diesen Wässern aufgelöste Kohlensäure* und der in denselben enthaltene *Sauerstoff*. Auf diese Stoffe und deren Zusammenwirken muss sich die chemische Verwitterung, solange die organische Welt an derselben keinen Teil nimmt, zurückführen lassen.

Der *Sauerstoff* der Luft wird unmittelbar oder in Wasser gelöst nur auf Mineralien wirken können, die, wie Hornblende und Augit, grosse Mengen Eisenoxydul in sich enthalten, während seine Wirkung auf die anderen wichtigeren Gesteinselemente, die eigentlichen Feldspate, die nichts Oxydierbares in sich enthalten, gleich Null sein wird. Dort aber wird er wohl den Anlass zu einem völligen Zerfallen des Minerals, schliesslich zu einem durch Eisenoxyd braun gefärbten, feinen Pulver geben und so das Mineral in einem für weitere Verwitterungsmomente weit zugänglicheren Zustande hinterlassen. So wird Melaphyr und Basalt beim Verwittern häufig rot oder braun durch Ausscheidung von Eisenoxyd. — Eine ähnliche Rolle wie die eisenoxydulhaltigen Mineralien spielt auch wohl der gelegentlich in den krystallinischen Gesteinen vorkommende Schwefelkies, der sich bei Anwesenheit von Feuchtigkeit und Sauerstoff zunächst in Eisenoxydulsalz verwandelt, und das im Basalte vorkommende Magneteisen, welches noch weiteren Sauerstoff aufzunehmen im Stande ist.

Das *reine Wasser* an sich ist nach der durch Experimente wohlbegründeten*) Ansicht der Mineralogen schon ein Körper, dem wir zersetzende Wirkungen in Bezug auf die Mineralien, welche die krystallinischen Gesteine konstituieren, zuzuschreiben haben. Versuche lehren thatsächlich, dass das reine Wasser an sich schon auf die Alkalifeldspate: Kalifeldspat und Oligoklas, einwirkt und dieselben einerseits in Kaolin, der im wesentlichen kiesel-saure Thonerde ist, andererseits in lösliches kiesel-saures Kali oder Natron verwandelt, oder wenigstens diesen Prozess einleitet; ja, selbst gasförmiges Wasser wird aus der umgebenden Luft durch die meisten Gesteine aufgesogen und chemisch gebunden. Jedenfalls wird aber diese Wirkung durch die Kohlensäure der Luft und des Regenwassers unterstützt, offenbar weil diese zur Lösung des kiesel-sauren Alkalis unter teilweiser Bildung von kohlensaurem Alkali beiträgt. Der Prozess kann draussen in der Natur nur erhebliche Dimensionen annehmen, wenn das gelöste Alkali durch die Wässer fortgeführt wird**). Findet

*) Vergl. darüber Bischoff: Lehrb. d. Geologie, II, p. 978. Haushofer: Journ. f. pr. Chem., Bd. 103, p. 121, und Daubrée: Compt. rend., T. 64, p. 339. Durch Bressan und durch Emmerling ist selbst die Löslichkeit von Glas in Wasser gezeigt und quantitativ festgestellt worden. Details in dieser Richtung finden sich bei Detmer: Naturwissenschaftl. Grundlagen der Bodenkunde, p. 96 u. f.

**) Es wird vielleicht hier die Frage aufgeworfen werden, wie es kommt, dass die krystallinisch-massigen Gesteine einer Veränderung durch die atmosphärischen Einflüsse erliegen,

die Zersetzung durch wirkliche Sauerlinge (stark kohlensäurehaltige Wässer) statt, so wird rasch viel kohlensaures Alkali aus dem zerfallenden Feldspat fortgenommen, während abgeschiedene Kieselsäure der Hauptsache nach ungelöst zurückbleibt. Der Verwitterungsprozess stellt sich im wesentlichen also dar als ein *siegreicher Kampf der Kohlensäure mit der Kieselsäure um den Besitz der Basen*, der bei der gewöhnlichen Temperatur in dieser Richtung entschieden wird, während in der Glut der vulkanischen Herde die erstere wegen ihrer Flüchtigkeit unterliegen muss und massenhaft unter den Exhalationsgasen auftritt*).

Unter den Basen tritt ausser Natron bei der Verwitterung hauptsächlich noch Kalk aus, selbst wenn er nur in geringeren Mengen im ursprünglichen Feldspat vorkommt. Schwieriger wird das Kali ausgelaugt und die Magnesia**). An Eisenoxyd tritt eher eine Vermehrung ein, da Eisenoxysilikat sowohl als Eisenoxydhydrat grosse Unlöslichkeit besitzt.

Bewegtes Wasser, wie wir es meistens in der Natur vorfinden, wirkt bei dem ganzen Verwitterungsprozesse viel energischer als stillstehendes und um so stärker, je mehr die Gesteinsteile infolge dieser Bewegung aneinander gerieben werden.

In den Quellen, die aus denjenigen von uns unterschiedenen Gesteinsgruppen, für die das Vorhandensein eines Alkalifeldspats charakteristisch ist, aus den Graniten (Gneisen), Porphyren etc. entspringen, ist die eben besprochene Wirkung leicht zu konstatieren. Diese Quellen reagieren stets wegen ihres Gehalts von (nur an die schwache Kohlensäure oder Kieselsäure gebundenen) Alkalien schwach alkalisch, sie sind sogenannte weiche Wässer, die sich gut zum Waschen eignen, und haben die Eigentümlichkeit, sich mit humosen Stoffen***) (langsam vermodernenden Pflanzenresten), also z. B. beim Durchsickern durch torfigen Boden oder eine dunkelgefärbte Ackererde, braun zu färben, was auf der Bildung von später näher zu besprechenden löslichen humussäuren Alkaliverbindungen beruht.

In einer hiervon abweichenden Weise wirken die Meteorwässer auf die Mineralien ein, in denen die Alkalien mehr und mehr in den Hintergrund, die alkalischen Erden

da sie doch unter ähnlichen Bedingungen ursprünglich entstanden sein müssen. Beim Acceptieren der plutonischen Hypothese ist es leicht, auf diese Frage eine stichhaltige Antwort zu geben, indem man auf die Verschiedenheit der Affinitäten bei verschiedenen Temperaturen hinweist und namentlich zeigt, wie die Kieselsäure in der Glühhitze alle anderen Säuren, am leichtesten aber die Kohlensäure aus ihren Verbindungen auszutreiben vermag, während die Kohlensäure umgekehrt bei niedriger Temperatur und Gegenwart von Wasser die Silikate langsam zersetzt. — Dem Neptunismus bereitet diese Fragestellung eher einige Schwierigkeiten, und die Beantwortung, soweit sie gegeben wird, fällt zusammen mit jenem der Verwitterung entgegengesetzten, von ihm angenommenen Rückbildungsprozess, dessen Grundlagen hier zu erläutern uns zu weit führen würde.

Der grosse Natrongehalt vieler Sauerlinge zeigt am besten die zersetzende Fähigkeit des mit Kohlensäure geschwängerten Wassers auf die Silikate; vergl. hierüber Bischoff a. a. O.

*) Hiermit im Zusammenhang steht auch die Frage der Kohlensäureverarmung unserer Atmosphäre infolge der zunehmenden Verwitterung, wodurch einige Physiologen glaubten, dass das organische Leben mehr und mehr geschädigt werden könnte. Vulkanische Prozesse müssen dieser Verarmung wirksam entgegenarbeiten.

**) Daher die vielen Magnesiasilikate sekundärer Bildung (Talk, Speckstein u. dergl.).

***) Genauere Definition derselben weiter unten.

in den Vordergrund treten, also auf Labrador, Augit und Hornblende und die aus ihnen bestehenden Gesteine.

Hier giebt es kein an sich in Wasser lösliches Spaltungsprodukt hinwegzuführen, und deshalb ist die Wirkung des reinen Wassers auf diese Gesteinselemente verschwindend. Hier tritt die Kohlensäure nicht bloss als ein Beförderer des Zerlegungsprozesses dieser Silikate, sondern als der hauptsächlichliche Veranlasser derselben auf. Das mit Kohlensäure geschwängerte Wasser bewirkt eine Zerlegung in der Weise, dass kohlensaure alkalische Erden entstehen, die z. T. in weiteren Mengen Kohlensäure gelöst das sich zersetzende Mineral verlassen, z. T. aber auch zurückbleiben und so die Kieselsäure verhindern, ebenfalls mit in Lösung zu gehen. Diese Zersetzung betrifft aber, wie schon angedeutet und wie Analysen halb verwitterter Augite lehren, weit mehr das Kalk- wie das Magnesiasilikat, welches letztere im festen Zustande kaum von kohlensäurehaltigem Wasser angegriffen wird*).

Der Verwitterungsprozess solcher (überwiegend alkalische Erden enthaltender) Silikate geht also in dieser Beziehung in anderer Weise vor sich als bei den alkalischen Feldspaten. Die abfliessenden Wässer sind wenig oder nicht alkalisch reagierend, enthalten im wesentlichen keine kieselsauren Alkalien, sind sogenannte harte Wässer, da sie in Berührung mit Seife deren Wirkung durch Niederschlagen von fettsauren alkalischen Erden vernichten, und färben sich, durch humusreiche Bodenschichten filtriert, nicht braun, da die humussauren alkalischen Erden fast unlöslich sind. — Der zurückbleibende thonige Rest ist von mehr komplizierter Zusammensetzung als in jenem ersteren Falle, da auch bei vollständiger Zersetzung Magnesiasilikat und, wenn es sich um Augit oder Hornblende handelt, Eisenoxydhydrat der kieselsauren Thonerde beigemischt bleibt. In demselben ist aber ebenso wie im Kaolin und im Gegensatze zu den ursprünglichen Mineralien der Massengesteine Wasser chemisch gebunden.

In dieser Weise verläuft also der Verwitterungsprozess bei Mineralien**) wie Labrador, Augit und Hornblende; nur mit dem Unterschied, dass letztere beiden schon durch den Sauerstoff angegriffen und in ihrem Zusammenhang erschüttert werden, indem Eisenoxydul, das an Kieselsäure gebunden gedacht werden muss, aus diesem Zusammenhang gerissen und in Eisenoxydhydrat übergeführt wird, während der eisenoxydulfreie Labrador lediglich den Einflüssen des mit Kohlensäure geschwängerten Wassers unterliegt. Auf diesen Gesichtspunkt kann freilich nur teilweise die verschiedene Widerstandsfähigkeit dieser Mineralien den Agentien der chemischen Verwitterung gegenüber zurückgeführt werden. Natürlich kommt

*) Siehe die Anmerkung **), p. 23.

**) Umfassende Verwitterungsversuche namentlich mit kohlensäurehaltigem Wasser und Lösungen von Ammoniaksalzen sind von Dietrich (vergl. Journ. f. pr. Chemie, Bd. 74, p. 129) angestellt worden; ebenso an Ackererden von Knop und dessen Schülern (siehe Kreisl. d. Stoffe, II, p. 189). Speziell über die Verwitterung von Hornblende vergl. Rogers bei Bischoff a. a. O., I, p. 210. — Eine neuere Arbeit von Lemberg: Über Silikatwandlungen (Dorpat, 1877) giebt ungewöhnlich viel neue chemische Details und ist des eingehenden Studiums der Agrikulturchemiker würdig.

dann bei der Verwitterbarkeit der einzelnen Gesteine auch deren Feinkörnigkeit, Porosität u. s. w. in Betracht.

Es scheint nun weiter zu folgen, dass der hier beschriebene Verwitterungsmodus die Gesteine der zweiten von uns unterschiedenen Gesteinsgruppe betrifft. Doch muss man bedenken, dass dieselben beinahe alle auch Alkalifeldspate einschliessen, so dass der im vorigen geschilderte Gegensatz erst völlig zur Geltung kommt bei der Verwitterung der später zu besprechenden (sedimentären) Kalksteine.

Überhaupt darf man auch bei Betrachtung dieser Verhältnisse nicht vergessen, dass in der Natur sich keine ganz scharfe Grenze ziehen liess zwischen den kieselthon-alkalischen Gesteinen und kiesel-eisen-kalkigen Gesteinen, dass die ersteren stets alkalische Erden, wenn auch in zurücktretender Menge, dass die letzteren Alkalien oft in bedeutenden Mengen enthalten, und so ist das eben Gesagte in der Anwendung auf diese Gesteine auch stets nur relativ richtig.

Ein noch grösserer Unterschied in Bezug auf das endgültige Verwitterungsergebnat, als durch die besondere Natur der ursprünglichen Gesteine, welche der Zersetzung unterliegen, wird bewirkt durch die grössere oder kleinere Menge von Wasser, welche in dieser oder jener Gegend dem Boden zur Verfügung steht. In dieser Beziehung sind namentlich durch die umfassenden Untersuchungen des californischen Agrikulturchemikers Hilgard*) ganz neue Gesichtspunkte ans Licht gekommen.

Derselbe unterscheidet trockene (aride) und feuchte (humide) Gegenden und versteht unter den ersteren diejenigen, wo der gewöhnliche Regenfall nicht ausreicht, um regelmässig Sickerwasser zu bilden, unter den letzteren, bei denen dies wohl der Fall ist. Dass in Europa beinahe ausschliesslich der letztere Fall vorkommt, ist die Ursache, dass man nicht früher auf dieses wichtige Moment der Bodenbildung aufmerksam geworden ist. Wo aber, wie in einem grossen Teile von Californien, der Regen nicht durchdringt bis in den Untergrund und alles Meteorwasser wieder aus der Krume mit oder ohne Mitwirkung der Pflanzenwelt verdampft, da kann es naturgemäss zu keiner Auslaugung der Alkalien einerseits, zu keiner Bildung von dem Kaoline nahestehenden thonigen Massen kommen, sondern es bilden sich im wesentlichen die schon erwähnten wasserhaltigen Doppelsilikate.

Die praktische Folge dieses Verhaltens ist der grössere Bestand an löslichen Pflanzennährstoffen des Bodens trockener Gegenden, aber auch eine so grosse Anhäufung derselben, namentlich von kohlensaurem Natron in Trockenperioden, dass vorübergehend der Pflanzenwuchs unmöglich wird**), wie ja eine ähnliche Erscheinung auch auf den ungarischen Puszten im Sommer wahrgenommen wird. Natürlich unterbleibt auch unter diesen Umständen die in feuchten Gegenden so bedeutende Auswaschung des kohlen-sauren Kalkes, und dieser eben ist es, der zur Neuentstehung von scharf alkalisch reagierenden Alkalisalzen immer wieder Veranlassung giebt***).

*) Vergl. Forsch. a. d. Geb. d. Agrikulturphys., 1893, p. 82.

**) Eine ähnliche Erscheinung habe ich selbst im feuchten Holland und zwar in dem trockenen Jahre 1893 wahrgenommen, wo die alkalische Reaktion in Kleyböden sich in mehreren Fällen bis zur Schädigung des Pflanzenwuchses steigerte. Rumänische Böden aus dem Donaudelta zeigten mir kürzlich auch ganz ähnliche Erscheinungen.

***). Über die Beziehung dieser Erscheinung zur Struktur des Bodens und die Heilung einer verkehrten Struktur vergl. weiter unten die 10. Vorlesung.

Zu erwähnen ist dann noch, dass eine mässig erhöhte Temperatur, wie bei vielen andern chemischen Prozessen, so auch bei der chemischen Verwitterung eine grosse Rolle spielt, also dass in heissen Klimaten dieselbe mit grösserer Schnelligkeit vor sich geht*).

Mit Hilfe der nun bekannten Thatsachen sind wir aber im stande, uns eine ziemlich zutreffende Anschauung zu bilden von der Wirksamkeit der verschiedenen Verwitterungsmomente. Den mechanischen Kräften, welche zur Zertrümmerung einer an die Atmosphäre grenzenden Felsschicht beitragen, konnten wir *an sich* keine grosse Bedeutsamkeit zuerkennen. Im Verein jedoch mit den nun erörterten chemischen Zerstörungskräften werden sie etwas viel Erheblicheres leisten können. Da die Massengesteine fast samt und sonders aus einem Gemische sehr verschieden-gearteter Gesteinselemente bestehen und diese verschiedenen, die Gesteine konstituierenden Mineralien in sehr verschiedenem Grade der Verwitterung zugänglich sind, manche sogar derselben beinahe absoluten Widerstand leisten, so bietet, wenn durch die chemischen Kräfte der Atmosphäre einzelne Gemengteile zu Staub zertrümmert sind, ein so durchhöhltes Gestein nun auch den mechanischen Kräften grössere Angriffsflächen dar. In dieser Hinsicht muss denn namentlich der vorhin schon berührten Kraft des beim Gefrieren sich ausdehnenden Wassers in den gemässigten und kalten Klimaten eine Rolle zugeschrieben werden.

So sehen wir, je nach der ausserordentlich verschiedenen Widerstandsfähigkeit der einzelnen Gesteine, über die sich allgemeines kaum aussagen lässt, in früherer oder späterer Zeit eine Verwitterungsschicht sich bilden, und schon durch diese Verhältnisse allein wird sich eine Art von Nährboden für manche Gewächse, wenn auch noch nicht sofort eine fruchtbare Ackererde, bilden, es sei denn, dass sekundäre Umstände hinzutreten, welche die kaum gebildete Schicht sofort nach ihrer Entstehung wieder hinwegnehmen.

Dietrich hat die geschilderten Verhältnisse empirisch bei verschiedenen Gesteinsarten zu ermitteln gesucht, indem er gleiche Mengen grösserer Gesteinsbrocken (freilich meist von sedimentären Gesteinen) in Kästen 2 Jahre lang den natürlichen Verwitterungsmomenten aussetzte und die Veränderung in der Form von gebildeter Feinerde und Gesteinsstückchen konstatierte. Er fand hierbei**):

	Feinerde.	Kleine Steine.
wenn er Sandsteine verwendete	2,3 %	8 %
„ Buntsandsteine „	2,5 „	49 „
„ Muschelkalk „	0,8 „	9 „
„ Basalt „	0,6 „	1 „.

Die Verwitterungsschicht wird aber je nach dem Gestein, aus dem sie entstand, auch sehr verschiedene Eigenschaften haben. War Granit das verwitternde Muttergestein, so hat sich die chemische Veränderung fast ausschliesslich auf das feldspatartige Gesteinselement bezogen; Glimmer und Quarz sind nahezu chemisch intakt

*) Vergl. hierüber die Angaben von Reisenden, z. B. v. Bibra (Reise in Südamerika, 1854, p. 118 u. 136) für die Umgegend von Rio de Janeiro.

**) Citiert in Detmer's Bodenkunde, 1876, p. 90.

geblieben und nur durch das auswitternde Verbindungsmaterial aus ihrem Zusammenhang gerissen worden und finden sich als unveränderte Gesteinsfragmente in der Verwitterungsschicht. — Der zersetzte Feldspat aber, aus dessen Elementen im wesentlichen die Feinerde der so gebildeten Schicht besteht, wird je nach seiner mehr oder weniger weit gegangenen Zersetzung sich dem reinen Kaolin*) mehr oder weniger nähern, nur Spuren von Alkalien oder dieselben noch in reichlicher Menge enthalten; er wird ferner je nach der Beteiligung von viel oder wenig Kohlensäure bei dieser Verwitterung mehr oder weniger feinverteilte Kieselsäure enthalten, welche andere Basen, die in der Umgebung vorhanden sind, festzuhalten geeignet ist. Die Erfahrung lehrt, dass selbst dem äusseren Anschein nach schon völlig in eine weisse thonige Masse übergegangener Feldspat noch häufig sehr viel Alkalien in sich enthält. Bemerkenswert ist wieder das sehr verschiedene Verhalten von Natron und Kali bei diesem Auswaschungsprozesse, da durch dasselbe die Fruchtbarkeit einer durch eine solche Verwitterung entstehenden Bodenschicht bedingt erscheint. Wie der Natronfeldspat viel leichter verwitterbar ist als der Kalifeldspat, so wird nachweisbar ein krystallinisches Gestein, das Kali und Natron nebeneinander enthält, viel schneller an Natron beraubt wie an Kali**). Da letzteres ein in erheblichen Mengen erforderliches Pflanzennahrungsmittel ist, ersteres aber jedenfalls für die meisten praktischen Betrachtungen als solches vernachlässigt werden kann, so ist dies sehr verschiedene Verhalten beider sonst so ähnlichen Metalloxyde von grosser Wichtigkeit. Wir werden auf dies verschiedene Verhalten beider Alkalien bei Erläuterung der Eigenschaften der fertig gebildeten Ackererde noch ausführlich zurückkommen***).

In ähnlicher Weise, nur mit den schon hervorgehobenen Unterschieden, wird der gleiche Bildungsprozess einer Verwitterungsschicht auch bei anderen Gesteinen vor sich gehend gedacht werden müssen. Die schwer angreifbaren Gemengteile bilden die groben Einschlüsse einer Feinerde, welche letztere vorherrschend aus den chemisch umgewandelten und dabei ihres Zusammenhangs beraubten Gesteinselementen besteht. Diese eingebetteten, noch unangegriffenen, Gesteinsreste sind nun je nach der Ge-

*) Das Schema hierfür ist, wenn wir uns den Prozess vollständig denken:

	Kieselsäure	Thonerde (Al_2O_3)	Kali	Wasser
Feldspat	64,6%	18,5%	16,9%	—
hiervon gelöst	43 „	—	16,9 „	—
bleibt Kaolin	21,6 „	18,5 „	—	6,5% (nach Neumayr: Erdgeschichte).

**) Diese beweisen z. B. sehr deutlich die vergleichenden Analysen verwitterter und unverwitterter Phonolithe von v. Rath (citirt von Knop), Bischoff: Lehrbuch, 2. Aufl., Bd. 3, p. 370. Vergl. auch E. Wolff: Die wichtigeren Gesteine Württembergs etc., III, p. 14; ferner Breitenlohner: Fühlings Zeitung, 1876, p. 202; ferner Lemberg: Über Silikatumwandlung, Dorpat 1877, p. 2 u. 78; endlich Analysen von Quellen bei Risler: Geologie agricole, I, 36. — Auf diese Weise kann dann auch bei Acceptierung der plutonischen Hypothese der Reichtum des Meeres an Natronsalz erklärt werden, indem die „Urgesteine“ bei Verwitterung und Auslaugung vorzugsweise Natron verloren und so Veranlassung zu kalireicheren sekundären Bildungen (vergl. z. B. die Analysen der thonigen Sedimentgesteine auf p. 43), namentlich einer relativ kalireichen Ackererde gegeben hätten.

***)) Vergl. die 6. Vorlesung.

birgsart, aus welcher die Verwitterungsschicht gebildet wurde, sehr verschiedener Natur. Sie können ebensogut wie Quarz und Glimmer auch Labrador, Hornblende, ja sogar Kalifeldspat sein, wenn diese z. B. mit leichter zersetzbaren Mineralien zusammen eine Felsart gebildet hatten, und je nach der Beschaffenheit dieses der Feinerde eingebetteten Gruses wird die Bodenschicht noch einer weiteren Verwitterung ausgesetzt sein, oder die Umwandlung wird für die einmal vorhandene Schicht als nahezu beendet angesehen werden können. Es kann gesagt werden, dass die Mehrzahl auch der schon lange von Pflanzen bestandenen und in Kultur befindlichen Böden noch derartige unverwitterte, aber verwitterbare Elemente in sich enthält, und gerade aus diesem Gesichtspunkte ist grossenteils die allbekannte Erfahrung zu erklären, dass häufig nur ein so kleiner Teil des analytisch nachgewiesenen Bodenreichtums für den Pflanzenbau unmittelbar verfügbar erscheint.

Wir können aus dieser ganzen Darstellung zur Genüge ersehen, dass schon die bisher behandelten Zerstörungsmomente für eine gewisse Bodenbildung genügen. Hunderte von Beispielen lehren, dass die auf die beschriebene Weise sich bildende Verwitterungsschicht für das Gedeihen vieler Gewächse genügt. Wir sehen diejenigen unserer Gebirge, welche ganz und gar aus den bisher betrachteten Gesteinsarten bestehen, meist über und über bewaldet, mit Ausnahme der Stellen, wo, wie an steilen Felswänden, der Regen und die Sturzbäche die dünne Verwitterungsschicht immer wieder von neuem losspülen und keine Anhäufung der Verwitterungsmasse möglich ist. Und wenn auch zugegeben werden muss, dass die ursprüngliche rein mineralische Verwitterungsschicht wegen ihrer Stickstoffarmut und des Mangels an verwesenden organischen Substanzen für die meisten Gewächse anfangs ein wenig zuträglicher Nährboden ist, auf dem eine tüppige Entfaltung derselben nicht mehr möglich erscheint, so ist doch leicht zu ersehen, wie wir später weiter auszuführen haben werden, dass ein solcher Boden bloss durch den Umstand, einmal von den Pflanzen occupiert zu sein, an Fruchtbarkeit mehr und mehr zunehmen muss, da die sich anhäufenden Reste abgestorbener Pflanzen gerade jenen Stickstoffreichtum und die andern erwähnten Vorteile herbeiführten. Für die anspruchsvolleren Pflanzen muss dann immer eine Besitzergreifung des Terrains durch andere, weniger begehrliche gedacht werden, die durch ihre Leichen den Boden zubereiteten für ihre anspruchsvolleren Nachfolger.

Nun ist aber in Wirklichkeit die Sachlage nicht ganz so, wie wir sie uns eben gedacht haben. Die Oberfläche der Erde ist grossenteils nicht so beschaffen, dass immer nur das eintreten könnte, was wir uns bisher vorgestellt haben. Bedeutende Erhebungen über die grossen Ebenen und das Weltmeer sind an den verschiedensten Punkten unseres Planeten vorhanden, und diese Erhebungen, in Bezug auf deren Entstehungsweise sich die Anschauungen der verschiedenen geologischen Richtungen noch nicht vollständig ausgeglichen haben, sind jedenfalls in ähnlicher Weise durch die vergangenen Erdepochen hindurch schon dagewesen und haben in diesen genau dasselbe zur Modifikation der Bodenbildung und neuen Gesteinsbildungen auf Kosten des verwitterten Materials jener krystallinischen Gebirgsarten beigetragen, was wir nun mehr für die Verhältnisse der Gegenwart ins Auge zu fassen beabsichtigen. Dieser Zustand der grossen Terrainverschiedenheiten, wie wir ihn an vielen Stellen unserer

Erdoberfläche, in den sogenannten gebirgigen Gegenden, beobachten, wirkt nun einerseits in der Weise auf die Bildung der Verwitterungsschichten ein, dass losgelöste Trümmermassen an abhängigen Orten Gelegenheit haben zum Hinabstürzen, und wenn dies geschieht, so eine Ursache zu ihrer weiteren mechanischen Zerkleinerung gegeben ist; dass ferner solche herabgestürzten Trümmermassen ganz besonders (durch ihre Gestalt hinlänglich gekennzeichnete) Stellen der Erdoberfläche, nämlich die, steilen Gebirgswänden nahegelegenen, Terrainfalten und Einschnitte ausfüllen müssen, wie wir dies ja häufig zu beobachten Gelegenheit haben.

Aber dieses Verhalten allein würde die Sachlage, wie wir sie bisher betrachtet haben, noch nicht wesentlich abzuändern im stande sein. Es wäre allerdings durch das Zerschellen beim Herabfallen für manche Stellen der Erde ein neues Moment zur mechanischen Zertrümmerung der einmal losgelösten Gesteinsmassen gegeben, und die Verwitterungsschichten würden sich ausserdem nicht immer genau am Orte ihrer Entstehung befinden, nicht überall genau ihrem Muttergesteine aufgelagert sein. Im grossen und ganzen wäre doch die Sache dieselbe. In unsern abfliessenden Wässern würden sich nur die bei der Verwitterung in Lösung übergegangenen Substanzen befinden und dieselben, sowie die Meere, in die sie das gelöste Material verschleppen würden, könnten keine anderen Ablagerungen bewirken als solche, die sich durch Wechselwirkung verschiedenegearteter Verwitterungswässer oder dieser auf andere Gesteinsarten oder endlich infolge der Verdunstung aus ihnen ausscheiden würden.

Dieser Hinweis genügt, um darauf aufmerksam zu machen, in welcher andern Weise noch die Terrainverschiedenheit thatsächlich auf der Erdoberfläche auf den Gang der geologischen Umformungsprozesse einwirkt. Derselbe zeigt deutlich, dass es die *mechanische Kraft des fliessenden Wassers* ist, die durch jene Terrainverschiedenheit zur Geltung kommt und in der ein sehr mächtiges Umformungsmoment erkannt werden muss. Die Wirkung des Wassers wird noch verstärkt durch das mitgeschleppte Geröll, welches zu der Bewegung die Härte fügt und so in das anstehende Gestein tiefe Rinnale einzuschürfen versteht.

Als Zertrümmerungsmittel von sehr ausgezeichneter Wirksamkeit müssen neben dem tropfbar flüssigen Wasser auch die Gletscher betrachtet werden, die in früheren geologischen Perioden noch von weit ausgedehnterer Bedeutung waren als jetzt; — ich erinnere an die durch Gletscher und treibende Eisschollen verschleppten, weit zerstreuten Findlingsblöcke, an den diluvialen Kies Hollands, der sich z. T. selbst auf norwegische Gesteine zurückführen lässt*), und andererseits an die ausgedehnten und erstaunlich tiefen Aushöhlungen, welche durch das schiebende Eis in dem festen Gesteine bewirkt worden sind, und welche heute mit Wasser gefüllt als Alpenseen dem Hochgebirge einen so besonderen Reiz verleihen. Auch hierbei wird noch mehr wie beim flüssigen Wasser die Hauptarbeit geleistet durch mitgeschleppte Gesteinsfragmente, die in dieser Fassung ähnlich dem Glaserdiamante besonders stark auf die Unterlage einzuwirken verstehen.

Wir thun gut, bei Besprechung dieser Wirkung des Wassers in beiderlei Gestalt die bloss verschleppende und die weiter zertrümmernde Wirkung auseinander

*) Vergl. in dieser Beziehung Staring: De bodem van Nederland.

zu halten. Das durch meteorologische Vorgänge regelmässig aus dem Wassergas der Atmosphäre verdichtete tropfbar flüssige Wasser*) fällt ebenso auf die Gebirge wie auf die Ebenen des festen Landes und wie in das Weltmeer selbst nieder. Die ganze Menge von Wasser, die in der festen Erdoberfläche nicht durch Verdunstung wieder direkt oder unter Beihilfe der Pflanzenwelt an die Atmosphäre abgegeben wird, eilt je nach der Neigung des Terrains mit grösserer oder geringerer Hast dem tiefergelegenen Weltmeer zu, um von dort aus zu verdunsten und sich von neuem zum Wiederantritt des gleichen Wegs anzuschicken. Die Kräfte, welche diesen kontinuierlichen Kreislauf unterhalten und so die Ursache sind zu allen den mechanischen Leistungen, die das fallende Wasser hervorzubringen im stande ist, haben wir schon früher einmal hinsichtlich ihres Ursprunges**) geprüft. Es ist auch hier die Bestrahlung durch die Sonne, welcher wir die ins Spiel kommenden Arbeiten zu verdanken haben und die so indirekt an dem Zerstörungswerk der festen Erdkruste teilnimmt.

Die Meteorwässer fallen mit einer gewissen Wucht auf die höher gelegenen Gebirge auf, spülen dort an den steilen Abhängen die Verwitterungsschicht mit sich fort, sammeln sich in anfangs kleinen, aber durch Vereinigung immer grösser werdenden Rinnsalen an, stürzen als wilde Bäche die Schluchten hinab, eine Unzahl mineralischer Trümmer grösserer und kleinerer Art mit sich fortreisend. Grosse Schuttmassen sammeln sich in den Gebirgstälern an, um gelegentlich wieder weiter geschleppt zu werden. Die wilden Gebirgsbäche vereinigen sich später zu grösseren Flüssen und Strömen, welche auf einem minder abschüssigen Terrain mit einer minder grossen Geschwindigkeit dahineilen, aber immer noch Trümmernmassen auf dem Grunde mit sich fortführen und eine sehr grosse Menge des Verwitterungsmaterials schwebend enthalten, um schliesslich alle diese Massen auf dem Tieflande auszubreiten oder dem Meere einzuverleiben.

Aber, wie gesagt, nicht bloss die grossartige Verschleppung der losgelösten Gesteinsfragmente auf so weite Strecken hin haben wir dem fallenden Wasser zuzuschreiben, sondern in ganz ausserordentlich grossem Maassstab auch die mechanische Zerkleinerung des anstehenden Gesteins***) an der Oberfläche, die „Denudation“ und „Erosion“ der Geologen, und endlich die mechanische Zerkleinerung des mitfortgerissenen Trümmernmaterials durch Reibung der Bruchstücke aneinander†). Man braucht nur den runden sogenannten „Kies“ zu betrachten, wie wir ihn in unsern Flüssen finden, um von dieser mechanischen Zerkleinerung eine Vorstellung

*) Über die Bildung von Verwitterungsschichten in regenlosen Ländern (Manila) vergl. Bibra: Reise in Südamerika, 1854, II, p. 211.

**) Siehe die fünfte Vorlesung des ersten Teils.

***) Über die Gewalt des fallenden Wassers giebt die Wirksamkeit grosser Wasserfälle auf die Gesteinsunterlage den besten Aufschluss. Diese wirken gleich einer Säge einschneidend auf ihre Unterlage, und infolgedessen soll z. B. der Niagarafall in 40 Jahren je 1 Fuss zurückrücken.

†) In manchen Flüssen, die mit grosser Geschwindigkeit aus einem felsigen Terrain kommen, kann man, wie im Rhein zu Basel, beim Untertauchen ein deutliches Klirren des sich aneinander reibenden Kiesel vernehmen. Die Reibung hat wieder, wie Daubrée gezeigt hat, einen Einfluss auf die chemische Zersetzung der betreffenden Mineralien; vergl. Compt. rend., T. 44, p. 997, u. T. 64, p. 339.

zu gewinnen. Selbst die härtesten Gesteinsfragmente wie den Bergkrystall sehen wir schon in den Gegenden des Oberrheins zu kugelrunden „Rheinkieseln“ abgeschliffen. Wenn man bedenkt, wie viel Prozent des Gewichts eines ganz beliebig geformten Bruchstücks in Gestalt von staubförmigem Material abgeschliffen werden musste, um zu diesen durchweg rundlichen Formen zu gelangen, so wird man ein ungefähres Bild haben von der Pulverisierungskraft des dahinfließenden Wassers.

Wie rasch dieses Rundschleifen erfolgt, geht auch hervor aus dem Auftreten des Kieselns schon ganz in den obersten Quellengebieten. Ich bewahre noch ein paar ganz rundgeschliffene Glasschlacken, die ich aus dem Bette eines Schwarzwaldbaches ca. 400 Meter unterhalb einer Glashütte, woselbst sie in eckiger Gestalt in das Wasser geraten sein müssen, aufgelesen habe und die also beweisen, auf wie kurzem Wege eine so bedeutende Abnutzung des harten Silikates erfolgen kann*).

So wirkt das fließende Wasser selbst in hohem Maasse an der mechanischen Verwitterung teilnehmend und überdies das Verwitterungsmaterial mit sich fortführend. Auf solche Weise werden dann alle Orte, wohin das fließende Wasser gelangt, also das ganze Überschwemmungsgebiet der so vielfach in geologischen Zeiten ihr Bett ändernden Flüsse und Bäche und der Grund des Weltmeeres mit den weggeschwemmten Trümmern überführt, und aus diesem Gesichtspunkte muss die Entstehung aller geschichteten Steine, muss die ganze Bildung von Boden, der nicht auf seinem Muttergestein aufliegt, erklärt werden.

Allein der wichtigste Gesichtspunkt, der für diesen ganzen Vorgang festgehalten werden muss, ist die *verschiedene Aufschlammbarkeit der einzelnen Trümmerteile, der einzelnen mechanischen und chemischen Verwitterungsprodukte*. Aus diesem allein erklärt sich die ausserordentliche Mannigfaltigkeit der Zusammensetzung und Eigenschaften der Flözgebirge sowohl wie des angeschwemmten Bodens.

Ob irgend ein Körper, der wie alle Mineralien spezifisch schwerer ist als das Wasser, von diesem dennoch gehoben und mit sich fortgeführt werden kann, dies wird wesentlich abhängig sein *von dem spezifischen Gewicht dieses Körpers, vom Verhältnis von dessen Oberfläche zu dessen Inhalt und von der Schnelligkeit der Bewegung des Wassers*. Ähnliche Verhältnisse werden auch für das Rutschen von Körpern am Grund eines bewegten Wassers maassgebend sein, nur dass hierzu im allgemeinen geringere lebendige Kräfte des bewegten Wassers genügend sind. — Dies behauptete Verhalten (durch Versuche leicht anschaulich zu machen) ist aber auch theoretisch leicht verständlich, wenn wir uns überlegen, von welchen Kräften es allein abhängen kann, ob ein Körper, der ein höheres spezifisches Gewicht besitzt als Wasser, in diesem am Untersinken gehindert wird. Offenbar muss, damit der erlangte Effekt zu stande kommt, die Differenz zwischen der Schwerkraft des suspendierten Körpers und des von ihm verdrängten Wassers eine kleinere Kraft sein als die Reibung, die er in der Richtung des Falls am Wasser erleiden müsste. Erstere Differenz ist nun allein abhängig vom Gewicht des Körpers, die Reibung von der Geschwindigkeit des bewegten Wassers und von der Grösse der Reibungsfläche. Diese letztere ist aber hauptsächlich bedingt von der absoluten Grösse oder

*) Auf nicht viel grössere Abstände findet man auch häufig schon Granit, „kies“.

Kleinheit des aufgeschwemmten Körpers, und ein kleiner Körper hat bekanntlich, bezogen auf die Einheit des Inhalts oder des Gewichts, eine viel grössere Oberfläche als ein Körper von grösserem Volum. Ausserdem besteht natürlich eine solche Abhängigkeit von der Gestalt der suspendierten Körperchen, worauf wir als einen untergeordneten Gesichtspunkt nicht näher einzugehen brauchen. So kommt man zu dem für die Bildung von mineralischen Ablagerungen aus bewegten Wässern sehr wichtigen Satz, dass *die Aufschlammbarkeit eines Körpers um so vollkommener sei, je bewegter das verwendete Wasser, je kleiner seine Bruchstücke und je spezifisch leichter derselbe ist.*

Das spezifische Gewicht der einzelnen Gesteinselemente, mit denen wir es bei der Verschwemmung des Verwitterungsmaterials zu thun haben, ist daher von einigem Interesse für uns. Das spezifische Gewicht dieser Mineralien ist im Durchschnitt mehrerer Bestimmungen*):

Mineralien der Massengesteine.	Mineralien sekundären Ursprungs.
Quarz = 2,66	Kalkspat = 2,7
Orthoklas = 2,55	Dolomit = 2,8—2,9
Oligoklas = 2,65	Thon bei 100° getr. = 2,5
Labrador = 2,7	Kaolin = 2,2
Glimmer = 2,8—3,1	Gips = 2,26—2,4.
Augit = 2,9—3,5	
Hornblende = 2,9—3,4	

Es ist aus vorstehender kleinen Zusammenstellung**) deutlich zu ersehen, dass die hauptsächlichsten Gemengteile der Urgebirgsarten keine allzu verschiedenen spezifischen Gewichte haben. Quarz und die verschiedenen Feldspate, einschliesslich des Kalkfeldspats, des Labradors, wiegen fast einerlei. Etwas schwerer ist der Glimmer, noch etwas schwerer die eisenhaltigen Mineralien, Augit und Hornblende.

Nun ist aber die chemische Veränderung bei der Verwitterung zu berücksichtigen. Für das Endprodukt der Feldspatverwitterung, den Kaolin, wird zwar ein erheblich niedrigeres spezifisches Gewicht angegeben als für das ursprüngliche Mineral; allein wenn man die entstandene thonige Masse scharf trocknet, so fallen die Unterschiede nicht so gar erheblich aus. Immerhin kann man sagen, dass das Verwitterungsprodukt der feldspatartigen und anderer verwitterungsfähigen Silikate ein geringeres spezifisches Gewicht hat als das Verwitterungssubstrat.

Ein gewisser, wenn auch nicht sehr bedeutender Unterschied der spezifischen Schwere ist also für die einzelnen Gemengteile der Verwitterungsschichten der Massengesteine vorhanden. Allein hierdurch würde noch keine sehr erhebliche Verschiedenheit in der Aufschlammbarkeit jener einzelnen Gemengteile bewirkt werden; und es ist von ganz wesentlicher Bedeutsamkeit für diese Verschiedenheit, dass die *Grösse* der

*) Die mitgeteilten Zahlen sind entweder Durchschnittszahlen der Girard'schen „Bodenkunde“ oder Naumann's Mineralogie entnommen.

**) Mit derselben befinden sich direkte Bestimmungen spezifischer Gewichte von Ackererden in genügendem Einklang. Man giebt z. B. (vergl. Mulder: Chemie der Ackerkrume, B. III, p. 363) folgende Zahlen an: Quarzboden = 2,75. Thonboden = 2,60. Kalkboden = 2,85. Gartenerde = 2,35. Humose Erde = 1,25.

Teilchen der einzelnen mineralogischen Elemente der Verwitterungsmassen ihrer Entstehungsweise nach notwendig eine sehr verschiedene sein muss. —

Ein Teil dieser Elemente sind die unveränderten, der chemischen Verwitterung nicht zugänglichen, krystallinischen Bestandteile der ursprünglichen Gesteine. Diese haben, während sie der ruhig sich bildenden Verwitterungsschicht angehörten, kaum irgend eine Zerkleinerung erfahren und sind in ihrer ursprünglichen Grösse noch in dieselbe eingebettet. Wenn die ganze Schicht von einem heftig bewegten Wasser losgelöst und mit fortgerissen wird, so können diese gröberen Stücke nur nach und nach durch die Kraft des bewegten Wassers langsam abgeschliffen, nicht eigentlich zertrümmert werden, und es wird je nachdem immer ein gröberer oder feinerer Grus oder Sand übrig bleiben, der als solcher mit fortgeführt wird.

Ganz anders ist es mit den chemisch veränderten Teilen der Verwitterungsmasse. Bei diesen hat eine so feine Pulverisierung durch die chemischen Kräfte stattgefunden, wie sie durch mechanische Mittel kaum zu erreichen ist; denn wenn sich eine solche chemische Umwandlung an einem festen Körper vollzieht und das Umwandlungsprodukt ist amorpher Natur oder mikrokristallinisch, wie in dem uns vorliegenden Falle der Silikatverwitterung fast ausnahmslos, so ist die gleichzeitige feinste Zerteilung des sich verändernden Körpers eine der notwendigen Folgen des chemischen Prozesses. Wir haben es also in den bei der Verwitterung der Feldspate, der Augite etc. entstehenden thonigen Massen mit Teilchen von äusserster Feinheit zu thun; und diese Eigenschaft ist es, welche die Aufschlammbarkeit der chemischen Verwitterungsmasse so ausserordentlich über die der blossen mechanischen Trümmer erhebt. Ausserdem kommen für das Schwebenbleiben der feinsten Teile auch noch andere Momente als die bis dahin betonten in Betracht, nämlich noch die Kapillaranziehungen zwischen jenen und der umgebenden Flüssigkeit. Dass solche Dinge hier von Belang sind, beweist die einfache Thatsache, dass man durch Thon getrübe Wasser rasch durch Zusatz von gewissen Salzen klären kann*).

Mit Kenntnis dieser wenigen, leicht verständlichen Thatsachen lässt sich nun die Wirkungsweise des bewegten Wassers bei der Wegschwemmung der Verwitterungsschichten und bei der wieder vorsichgehenden Ablagerung dieser Schichten ohne weitere Mühe herleiten. Die mit grosser Macht hinweggerissenen, in ihrer Aufschlammbarkeit so sehr verschiedenen mineralischen Massen werden in ihrer ganzen bunten Mannigfaltigkeit so lange von einem Wildbach getragen werden, bis die Steilheit des Terrains nachlässt und das Wasser die Raschheit seines Laufes zu mässigen gezwungen ist. — Hier werden dann die grössten Gesteinstrümmer, noch ganz unverwitterte Felsstücke, oft von sehr bedeutender Ausdehnung, abgelagert werden, und es entstehen an ganz bestimmt zu bezeichnenden Orten, da wo eine steile Bergwand plötzlich in eine flachgeneigte Thalsole übergeht, Trümmerhaufen, sogenannte

*) Vergl. Schlösing: Compt. rend., 1870, Juin 20; W. Durham: Naturforscher, 1878, p. 112; Sachsse u. Becker: Landw. Versuchsst., 43, p. 15; weiter meine Abhandlung in Wollny's Forschungen a. d. G. d. Agrikulturphys., Bd. II, p. 251; endlich Hilgard: American Journ. of sciences a. arts, XVII, March 1879. Der Gegenstand findet seines praktischen Interesses wegen noch weiter unten bei Behandlung der Durchlässigkeit (Vorlesung 10) eine Besprechung.

„Schuttkegel“. Man wird sich in diesen Gesteinshaufen, deren Fragmente meistens noch keine erhebliche Abrundung erfahren haben, vergeblich nach grösseren Mengen eigentlichen Kiesel, von Sand oder gar von chemischen Verwitterungsprodukten umsehen. Alles dies wird von dem rasch fliessenden Wildbach noch weite Strecken mit fortgenommen, um an ruhigeren Orten abgelagert zu werden.

Je mehr aber nun die Bäche sich im Thale oder in der kaum geneigten Ebene zu ruhiger fliessenden Flüssen vereinigen, um so mehr bleiben auch die grösseren Gesteinsfragmente auf dem Grund der Gewässer liegen und werden nur noch langsam fortgeschoben und nehmen dort die besprochene runde Gestalt an. In wirklicher Aufschlammung bleiben aber ausser jenen thonigen Massen, als die wir ganz allgemein die unlöslichen Produkte einer chemischen Verwitterung der Massengesteine bezeichnen können, nur die unterwegs auf mechanische Weise mehr und mehr zertrümmerten Gesteinsreste, die aber noch ihre ursprüngliche mineralogische Form bewahrt haben und die wir am besten mit dem Namen Schluff belegen. Zwischen Thon und Schluff einerseits und Kies andererseits stehen dann Massen*), die auch noch in ruhiger fliessendem Wasser in Aufschlammung erhalten werden, in stehendem aber sofort niederfallen, dieselben werden mit dem Namen „Sand“ in dessen weitester Bedeutung belegt und bestehen vorzugsweise aus Quarztrümmern, aus den Resten jener quarzhaltigen Gebirgsarten, wie Granit, Gneis, Glimmerschiefer und Porphy, aber auch gelegentlich aus andern Mineralien, die gleichfalls der Verwitterung mehr oder minder schwer zugänglich sind, wie Glimmerblättchen, die dem Quarzsand sehr häufig und namentlich, wo er aus Gneis und Glimmerschiefer sich gebildet hat, beigemengt sind, wie Labradorstückchen, selbst zertrümmertem Feldspat und vielen andern Mineralien, wenn diese der chemischen Verwitterung sich entzogen haben. Der Sand der norddeutschen Ebene ist an vielen Orten ein wahrer Feldspatsand, und ebenso giebt es ganz eigentlichen Labradoraand. Der Kiesel sand wiegt indessen vor, nicht bloss wegen seiner relativen Unverwitterbarkeit, sondern auch, weil er bei der mechanischen Zertrümmerung als das härteste unter den gewöhnlichen Mineralien am wenigsten zur Staubfeinheit zermalmt wird.

Thon ist mithin das feine Produkt chemischer Verwitterung, Sand die unverwitterten, aber (durch die Verwitterung anderer Mineralien, mit welchen sie zu Gesteinen zusammengekittet waren) losgelösten Mineralien und daneben ist es noch gut, den Schluff zu unterscheiden, welcher mechanisch mehr mit dem Thone, chemisch mehr mit dem Sande zusammenfällt, aber geologisch namentlich in glacialen Bildungen, in welchen er naturgemäss am stärksten auftritt, eine besondere Rolle spielt. Auch landwirtschaftlich ist dieser Unterschied von Wichtigkeit, weil so z. B. der grosse Unterschied zwischen dem fruchtbaren alluvialen Kley und dem ziemlich sterilen Lehme, der in Bänken im Untergrunde des Sanddiluviums angetroffen wird, erklärt werden kann.**)

*) Vergl. über den Gehalt von verschiedenen Flüssen an aufgeschlammten Bestandteilen v. Seilern: Pflanzenernährungslehre etc., 1865, p. 54; Bischoff: Lehrb. d. Geol., 2. Aufl., II, p. 497 u. f.

**) Einer der Assistenten des Verfassers hat durch besondere in deutscher Sprache noch nicht veröffentlichten Versuche bewiesen, dass der Gehalt des im Texte genannten Lehms an

Gegen die Mündungen der Flüsse hin, wo die Wasser sich mehr und mehr beruhigen, werden nun auch grosse Mengen von Sand fallen gelassen, und nur die chemischen Verwitterungsprodukte, die thonigen Teilchen, die, nicht sowohl wegen ihres spezifischen Gewichtes, als vielmehr wegen ihrer ungemein feinen Verteilung einer sehr bedeutenden Aufschlammbarkeit sich erfreuen, werden je nach den Umständen vermengt mit einigem „Schliff“ der schwerer verwitterbaren Mineralien mit einer Vollständigkeit in das Meer gelangen, während die noch übrigen gröberen Trümmer zur Versandung der Flussmündung, zur sogenannten Deltabildung, Veranlassung geben, wie sie auch schon im oberen Flussgebiete durch Verkiesung und Versandung des einmal ausgehöhlten Bettes die Stromschlingenbildung und den häufigen Wechsel des Strombetts bewirken.

Zum Niederschlagen der eigentlich chemischen Verwitterungsprodukte ist eine ausserordentliche Ruhe der Gewässer erforderlich. — Die Verhältnisse, die das Meer an den Küsten zeigt, die Ablagerungen und Anschwemmungen, die es daselbst bewirkt, erleichtern ausserordentlich das Studium der Bedingungen des Niederfallens dieser feinsten Partikelchen im Vergleich mit dem Sande. Ich möchte an die Umstände der Kleybodenbildung und andererseits der Dünenbildung an der Küste der Nordsee erinnern. — Wie wird z. B. dort das Meer zur Bildung der sogenannten Marschen, jenes thonigen Bodens von ausserordentlicher Fruchtbarkeit gebracht? — Die Sache ist ziemlich einfach. Man wählt vor Wind und Wellenschlag geschützte Stellen aus, wo das Meer schon an sich Neigung zeigt, neuen Boden abzusetzen*), und begünstigt nun die Bildung von Niederschlägen durch alle möglichen Hindernisse, welche man dem bei der Ebbe abziehenden Wasser in den Weg legt. Die Hauptrolle bei diesem Verfahren spielen senkrecht ins Meer hinauslaufende Fangdämme, je einige hundert Meter voneinander, sodann kleine, häufig erneuerte Gräben, deren Hauptrichtung senkrecht ist zur Richtung des abfliessenden Wassers, also im allgemeinen parallel mit der Küste. Dadurch wird einerseits das Absatzgebiet dem grossen Wellenschlage entzogen und ist andererseits das abfliessende Wasser gezwungen, viele Umwege zu machen und infolgedessen seinen Fall zu vermindern, seinen Lauf zu verlangsamen, und so ist Gelegenheit gegeben zu einem reichlichen Absatze von feinem Schlamme, welcher letztere eben dadurch auch besser abtrocknet und in diesem Zustande nicht so leicht neuerdings der Aufschlammung unterliegt. Als natürliches Hilfsmittel wirken bei dieser Landanschlammung mit: die Pflanzen, die sich auf dem neugebildeten Boden ansiedeln, vor allem das Kweldergras, *Glyceria maritima*, indem sie eines der allerbesten Hindernisse für das abströmende Wasser darbieten. Erst wenn der Boden eine Höhe erreicht hat, wie es in Hinsicht auf die bleibende Trockenlegung erwünscht erscheint, schreitet man zur eigentlichen Eindeichung.

Kieselsäure viel grösser als von dem in Rede stehenden Kley, also dass im ersteren viel Quarz „schliff“ vorausgesetzt werden muss.

*) Dies ist namentlich der Fall an Küsten, die der herrschenden Windrichtung abgewendet sind. Die Gründe hierfür sind ausführlich entwickelt bei Reinders: Handboek voor den Nederl. Landbouw, 1877, p. 60 u. f.

Nicht weit von den Orten, wo wir den eben geschilderten Prozess, welchen die Menschen dem Meere abgesehen und ihn zu ihrem Nutzen nachgemacht haben, vor sich gehen sehen, findet nun unter gewissen Umständen aus demselben Meere eine ganz andere Bildung statt. Überall an der Küste, wo der Wellenschlag des Meeres ungehinderten Zutritt hat, wie z. B. an dem Badestrande eines Seebads, ist nichts von einem thonigen Schlamm zu sehen, sondern nur ein feiner, durch die gegenseitige Reibung ausserordentlich rundpolierter Sand, welchen die Wogen bei ihrem Zurückfliessen hinterlassen. Die auch in diesem Wasser, wenn auch in geringerer Menge, suspendierten feineren thonigen Teilchen werden unter diesen Umständen natürlich aufgeschlämmt erhalten und gelangen nicht zum Niederfallen; und so findet denn an all diesen frei bespülten Küstenstellen, wenn überhaupt die Verhältnisse Ablagerungen günstig sind, Bildung von Sandbänken unter der Oberfläche des Meeres, von Dünen an den über den Meeresspiegel erhabenen Küsten selbst statt, wenn der Wind und die sehr merkwürdigen Vegetationsverhältnisse des Strandhafers, *Elymus arenarius*, zur weiteren Gruppierung der angespülten Sandmassen mitwirken. Unter allen Umständen entsteht so ein reiner Sandboden von ausgezeichneter Unfruchtbarkeit aus demselben Meere, das vielleicht einige Stunden davon jene fetten Kleyböden bildet und sogar in den Pfützen zwischen den Sandbänken eine erhebliche Menge von Schlammteilen zurücklässt.

Es ist in der That nichts im Stande, uns ein klareres Bild zu verschaffen von dem Charakter der Ablagerung aus bewegtem und ruhigem Wasser, als der Anblick dieser Dünen mit ihrer spärlichen Vegetation von Strandhafer und unweit davon der eingepolderten Ländereien mit ihren gedeihlichen Ölsaaten, üppigen Weizen- und Flachsfeldern*), als der Anblick der weiten unbauten Heideflächen des sandigen Geestlandes, das man nur mit den raffiniertesten Mitteln der Landwirtschaft dienstbar machen kann, und dann der fetten Marschländereien mit ihren üppigen Viehweiden an der Nordseeküste Deutschlands und Hollands — Unterschiede, die ganz allein aus jenem einen Gesichtspunkte hergeleitet werden können.

Aber auch im Binnenlande bemerkt man ähnliches, wenn auch weniger deutlich ausgesprochen. Für die Ablagerung der Flüsse gilt natürlich dieselbe Gesetzmässigkeit, nur dass diese in der Regel noch grössere Mengen eigentlicher Schuttmassen mit sich führen und selten zu einem Grade der Ruhe gelangen können, dass solche rein thonigen Ablagerungen zu erwarten sind. Am Niederrhein z. B., wo der Strom durch seine eigenen Deltabildungen dem bequemen Abflusse seines Wassers mannigfache Hindernisse in den Weg legt, wo der Fall ein sehr geringer geworden ist, sind, wie an vielen anderen Strömen von langem Lauf, die Bedingungen gegeben zu thonigen Ablagerungen. Denn sobald der Strom, wie es mit ziemlicher Regelmässigkeit in den Wintermonaten zu geschehen pflegt, anschwillt, ergiesst er sich langsam über das umgebende Flachland und kehrt noch langsamer bei fallendem

*) Angaben über die Fruchtbarkeit der Oldenburg'schen Marschen von Plate (vergl. Preuss. Annal. d. Landw., Monatsh., 1869, X, XI, p. 123); über den Kaligehalt, Phosphorsäuregehalt solcher Ländereien vergl. van Bemmelen: Landw. Versuchsst., 1866, p. 259, und an vielen andern Orten.

Wasser in seine Ufer zurück. Er hinterlässt hierbei einen thonigen Absatz, gleich geeignet zum Anlegen üppiger Weiden als zur Ziegelbrennerei; und so hoch wird diese natürliche Bodenverbesserung geschätzt, dass man die der Überschwemmung ausgesetzten, ausserhalb der Deiche gelegenen Ländereien wohl 50% höher bezahlt als das Ackerland, welches ursprünglich gleicher Provenienz, aber nun von Deichen geschützt künstlich durch Düngung mit Pflanzennährstoffen versehen werden muss.

Wir treffen dann, von demselben Rheinwasser gebildet, weiter oberhalb, wo der Strom noch steilere Ufer, einen stärkeren Fall besitzt und zu plötzlichen Überschwemmungen mehr geneigt ist, übersandete und mit Kies überstreute Überschwemmungsgebiete, ja, wenn wir die Produkte der Thätigkeit einer etwas älteren geologischen Zeit hinzurechnen, wahre Sanddünen, die sich z. B. auf dem rechtseitigen Ufer (zwischen Karlsruhe und Darmstadt) etwa in der Mitte zwischen dem jetzigen Rheinbette und dem Gebirge hinziehen, auf denen verkrüppelte Kiefern ein spärliches Dasein fristen. Auch hier haben wir es mit Ablagerungen aus einem und demselben Wasser zu thun, aber unter sehr verschiedenen Ablagerungsbedingungen.

Genau dasselbe finden wir auch an andern Orten. Man betrachte die oberitalienischen Flüsse, welche von den entwaldeten Bergen in der Regenzeit mit ungeheurer Raschheit berniederstürzen, wahre Felsblöcke mit sich fortführend und in die blühenden Thäler sich ein weites Bett wühlend, welche dagegen in der heissen Jahreszeit zu einem Bächlein zusammenschrumpfen, zu einem Nichts, das in dem Trümmerhaufen des ungeheuren Flussbettes kaum aufgefunden werden kann. Hier sind die Bedingungen nicht gegeben zu einem ruhigen, gleichmässigen Abfliessen des gefallenen Wassers; dieses stürzt in kurzer Zeit mit Gewalt herab und kann nur Boden zerstören, keinen neuen aufbauen; es wirft Schuttmassen in die lachenden Thäler und schleppt das feinere Verwitterungsmaterial ins Meer. —

Man vergleiche mit diesen Verwüstungen die Thätigkeit des Nils, da wo er sich über ein breites Delta in unmerklichem Falle in das Meer ergiesst. Auch hier periodische Überschwemmungen; allein solche von langsamem Kommen, langsamem Gehen und langer Dauer. Das Wasser hat sich schon früher in ruhigem Lauf von allen mechanischen Verwitterungsprodukten befreit und lässt nun auf das überschwemmte Ägypten die thonigen Teile niederfallen, und diese physischen Verhältnisse sind es ja bekanntlich, die unter anderm das Überschwemmungsgebiet des Nils zu einem der ältesten Kulturländer gemacht haben.

Wir haben so durch genügende Beispiele die Fähigkeit des Wassers erkannt, ein ihm übergebenes Verwitterungsmaterial in eleganter Weise*) in einzelne Glieder mechanisch zu sondern, und somit haben wir uns eines der wichtigsten neu hinzutretenden Momente der Umformung der Gebirgsarten und der Bodenbildung anschaulich gemacht. Mit Berücksichtigung dieses wesentlichen Momentes wird uns dann die Entstehung der sogenannten neptunischen oder Flözgebirge und ebenso des

*) Durch manche Schriftsteller, u. a. den amerikanischen Agrikulturchemiker Hilgard, werden ausser den Verwitterungsböden und den angeschwemmten (alluvialen) Böden noch sogenannte „colluviale“ Böden unterschieden, welche das Produkt sind einer unvollständigen Verschwemmung, wie sie im Hügellande selber stattzufinden pflegt. Dieselben stehen natürlich in ihren Eigenschaften zwischen den beiden Kategorien.

angeschwemmten Bodens, der von unserem Standpunkte aus vorläufig nicht von diesen Bildungen getrennt werden darf, rasch verständlich werden. Wir werden so Unterschiede der neugebildeten Gesteins- und Bodenarten begreiflich finden, die aus jenen zuerst allein berücksichtigten Umbildungsmomenten des Verwitterungsprozesses uns rein unverständlich hätten bleiben müssen.

Dritte Vorlesung.

Die Entstehung der Ackererde. — Flözgebirge und verschwemmte Böden. — Bodenklassifikation. — Die mechanische Bodenanalyse.

Wir sind nun im Besitz der Kenntnisse, die uns befähigen, die Hauptursachen der Umbildung der krystallinischen Massengesteine in andere Gesteine von sehr abgeänderten Eigenschaften zu verstehen und damit zugleich die Ursachen der mineralischen Zusammensetzung einer weiteren grossen Klasse von Bodenarten.

Das von dem hochgelegenen Festlande nach dem Meere hin kontinuierlich abfliessende Wasser, dessen treibende Kraft auf die Sonnenwärme in letzter Instanz zurückgeführt werden muss, ist nicht bloss die Ursache der weiteren mechanischen Zertrümmerung vieler gröberen Bruchstücke der durch die vorausgegangene Verwitterung losgelösten Felsmassen, dasselbe spielt vielmehr eine weit hervorragendere Rolle für die aus diesem Materiale entstehenden Neubildungen durch die (grossen Wassermengen eigentümliche) Fähigkeit, *einzelne Glieder der Verwitterungsmasse* nach ihren spezifischen Gewichten, viel mehr aber noch nach der Feinheit der einzelnen Teilchen, *voneinander abzusondern*.

Wir können nach dem Bisherigen drei solche Glieder der Verwitterungsmasse, welche sich hinsichtlich ihrer Aufschlammbarkeit ausserordentlich verschieden verhalten und nach denen bei eintretender Verschwemmung die Sonderung eintreten wird, unterscheiden. — Einmal die gröberen, noch gar nicht in ihre einzelnen Gemengteile zerfallenen Gesteinstrümmer, die *Schutt- und Kiesmassen*. Diese gelangen jedoch begreiflicherweise durch die Flüsse nur in seltenen Fällen ins Weltmeer und haben in demselben nicht gar zu häufig zur neuen Gesteinsbildung beigetragen. Der Boden, der direkt aus solchen Geröllablagerungen hervorgeht, wird sich durch sein eigentümliches Gefüge, durch seine Grobporigkeit und völligen Mangel an Feinerde auszeichnen — Eigenschaften, die wir später an sich schon für den Pflanzenwuchs als physikalisch ungünstige erkennen werden. Erst in dem Maasse, als die in ihm enthaltenen Gesteinstrümmer der chemischen Verwitterung unterliegen, wird ein brauchbarer Boden aus einem so beschaffenen hervorgehen können. Dies dauert aber in allen Fällen sehr lange Zeit, und es ist noch besonders dabei zu berücksichtigen, dass solche wohl erhaltenen Gesteinstrümmer der Wahrscheinlichkeit nach gerade aus den wenigst verwitterbaren Fragmenten, entweder sehr beständigen Gesteinen wie Gneis, Glimmerschiefer, oder Gesteinselementen wie Quarzbrocken und dergleichen, die überhaupt sehr unangreifbar sind für die Atmosphärrilien, bestehen werden. Ferner muss selbst die etwa durch die chemische Verwitterung gebildete

Feinerde zwischen den Gesteinsritzen rasch durch jeden Regenguss hinweggespült werden und endlich, wenn sich auch eine oberflächliche Verwitterungsschicht gebildet haben sollte, bleibt doch ein stark „drainierter“ Untergrund mit seinen später zu erörternden schädlichen Eigenschaften übrig. Kurz, man wird so begreifen, dass die Überführung eines Feldes mit grobem Gesteinsschutt, wie ihn Sturzbäche mit sich führen, demselben unter allen Umständen auf Jahrzehnte hinaus, vielleicht, menschlich gesprochen, auf immer, seine Fruchtbarkeit rauben muss.

Als zweites mechanisch leicht absonderbares Glied der rohen Verwitterungsmasse muss das fein zertrümmerte und in einzelne mineralogische Gemengteile getrennte, aber noch nicht chemisch veränderte Material, der *Sand*, unterschieden werden. Derselbe kann, wie schon ausgeführt wurde, aus sehr verschiedenen Mineralspezies bestehen; allein der Quarz nimmt hier, wegen seiner grossen Verbreitung und beinahe absoluten Unangreifbarkeit, eine sehr hervorragende Stelle ein, so dass wir unter Sand in erster Linie immer Quarzsand zu verstehen haben. Der Sand gelangt nun wegen seiner schon viel bedeutenderen Aufschlammbarkeit, und weil er auch auf dem Grund der Flüsse leicht mit fortgeschoben und gerollt werden kann, ziemlich vollständig in das Weltmeer. Dasselbst wird er entweder an geeigneten Orten angeschwemmt resp. angeweht und dient so z. B. zur Dünenbildung, also zu einer Art von direkter Bodenbildung.

Oder aber derselbe wird irgendwo in der Tiefe des Weltmeers versenkt und dient dort, wenn ein geeignetes Bindemittel zum Aneinanderkitten der einzelnen Sandkörner vorhanden ist, zur neuen Gesteinsbildung, zur Bildung der *Sandsteine*. Das Bindemittel der Sandsteine, durch welche sich dieselben vom losen Flugsande unterscheiden, kann sehr verschiedener Natur und kieselig, kalkig oder thonig sein, doch war bis jetzt der Erhärtungsprozess dieser in gelöster Form eingedrungenen Substanzen noch sehr wenig aufgeklärt. Wohl dachte man sich diesen Vorgang als einen der Erhärtung unserer Zemente sehr ähnlichen Prozess, d. h. auf der Bildung sehr komplizierter Silikate von wenig konstanter Zusammensetzung beruhend, aber es war doch wenig deutlich, wie die soeben noch unter dem Einflusse der Atmosphärilien entstandenen Verwitterungsprodukte der Ausgangspunkt sein könnten für so kräftige chemische Reaktionen. Erst durch die ganz neuen Studien über das Verhalten fester Stoffe bei hohem Drucke ist Licht in diese Dinge gekommen, indem man eingesehen hat, dass dieser geeignet ist, jene Massen ihrem Schmelzpunkte näher zu bringen, und dass in diesem Zustande schon einzelne Atomgruppen eine relative Beweglichkeit gewinnen, die überall die Voraussetzung einer chemischen Umsetzung ist. In der That ist es gelungen, Paare von trockenen Salzen in Pulverform unter hohen Pressungen miteinander umzusetzen, in ähnlicher Weise, wenn auch nicht mit der Vollständigkeit, als wenn sie in Lösung zusammengebracht würden, und die relative Vollständigkeit der Umsetzung ist dabei abhängig von der Stärke des Drucks und der Dauer der Einwirkung desselben. Nun ist aber hoher Druck für Ablagerungen auf dem Grunde des Meeres durch die grosse darüber gelagerte Wasserschicht von selbst gegeben, und wir können begreifen, wie auf diese Weise die Silikate zufällig mitniedergeschlagener Thone z. B. auf Kalkteile wirken und so neue Kalksilikate zu stande kommen, welche die weiche Masse erstarren machen.

Solche Sandsteine finden wir in der That in sehr grosser Mächtigkeit als Ablagerungsgebilde aller möglichen geologischen Epochen von den ältesten Zeiten an, wo die silurischen Schichten abgesetzt wurden, bis in der Jetztzeit sehr naheliegende Gruppen, als sicheres Zeugnis dafür, dass durch all diese grossen Zeiträume ein und derselbe Zerstörungsprozess in gleicher Weise vor sich gegangen ist, dass in allen diesen Perioden die Verschwemmung und Absonderung der unverwitterbaren Gesteinselemente und endlich deren Ablagerung in analoger Weise stattgefunden hat.

Es ist hierbei kaum daran zu erinnern nötig, dass der Grund dafür, dass wir jene Meeresbildung, wie die Sandsteine und die nachher zu besprechenden anderen Flözgebirgsarten heute überall als Gebirgsstöcke mitten im Festlande antreffen, einfach in den manigfachen Gestaltungsveränderungen, die unsere Erdoberfläche durch geologische Zeiträume hindurch erlitten hat, zu suchen ist. Als Ursache dieser Gestaltungsveränderungen, die sich kurzweg als Hebungen und Senkungen ausgedehnter Länderstriche bezeichnen lassen, werden von der herrschenden plutonistischen Richtung Reaktionen des heissen Erdinnern auf die oberflächliche kalte Kruste angegeben, indem sie annimmt, dass diese erstarrte Kruste beim Anpassen an den immer kühler werdenden und sich fort und fort zusammenziehenden Kern wie ein zu weit gewordenes Kleid auf einem abgemagerten Körper *Falten werfe* und so die vielfachen Verbiegungen, Brüche und Verschiebungen hervorrufe, welche wir zur Erklärung der Trockenlegung der geschichteten Gesteine notwendig annehmen müssen.

Der Sandstein hat nun je nach der Beschaffenheit seines Bindemittels und je nach den gelegentlichen Beimengungen, die er bei unvollkommener Sonderung von anderen Verwitterungsprodukten in sich aufgenommen hat, eine sehr verschiedene Zusammensetzung und braucht, wie folgende Analysen lehren, durchaus nicht wesentlich aus reiner Kieselsäure zu bestehen.

	Buntsdt. *)	Buntsdt. **)	Grünsdt.	Liassdt.	Molassesdt.
	(Neuenbürg)	(Eichsfeld)	(Westfalen)	(Franken)	(Oberbayern)
Kieselsäure	84—92 %	98,5 %	60,3 %	75,0 %	74,8 %
Thonerde	4—8 „	0,8 „	4,9 „	—	1,5 „
Eisenoxyd (-oxydul)	1,5—4 „	0,5 „	7,1 „	7,7 „	1,9 „
Kalk	0,9 „	—	14,0 „	5,0 „	11,5 „
Magnesia	0,2 „	0,24 „	1,3 „	1,5 „	—
Kali	2—3 „ ***)	—	1,1 „	—	—
Natron	0,1—0,5 „	—	—	—	—

Man bekommt durch diese Analysen einen ungefähren Überblick über die vorkommenden Variationen der Zusammensetzung der verschiedenen Sandsteine. Man darf übrigens auch hier wieder nicht glauben, dass von denjenigen Bestandteilen, die in den Gesteinsanalysen gewöhnlich übersehen sind, wie z. B. Kali, Phosphorsäure, nun auch nicht einmal Spuren vorhanden seien. Es gilt hierfür, was ich schon

*) E. v. Wolff: Jahresber. f. Agrikulturchem., 1868—69, p. 12.

**) Vergl. für diesen und die folgenden Girard: Bodenkunde, 1868, p. 117.

***) Der Kaligehalt der Sandsteine ist oft bedeutend, doch pflegt dasselbe grossenteils in unverwitterten Orthoklastrümmern in für Säuren schwer zersetzbarer Form vorhanden zu sein.

früher für das Vorkommen der Phosphorsäure in den Massengesteinen hervorgehoben habe: wenn man ernstlich sucht, so findet man auch in allen Fällen diese Stoffe in geringen, aber für den landwirtschaftlichen Gesichtspunkt durchaus nicht zu vernachlässigenden Mengen. So wurde in dem angeführten westfälischen Sandstein sogar 0,8% Phosphorsäure aufgefunden, eine für eine Ackererde durchaus ungewöhnliche Menge. Der Phosphorsäuregehalt der meisten Sandsteine ist indessen sehr gering. E. Wolff fand im Buntsandstein von Neuenbürg nur 0,025% von diesem Bestandteile*). Von Schwefelsäure war eine noch viel kleinere Menge vorhanden.

Was die direkt aus Sandablagerungen gebildeten Böden betrifft, so werden dieselben in vielen Fällen wie die eigentlichen Geröllböden sehr arm sein an chemischen Verwitterungsprodukten, um so ärmer, aus je bewegterem Wasser sie abgelagert wurden. Bestehen dieselben nur wesentlich aus Quarz mit einigen Glimmerblättchen und enthalten sie keine verwitterbaren Gesteinselemente in sich wie Feldspat- und Labradorkörner, so werden sie dem Geröllboden an Unfruchtbarkeit nahekomen. Dies ist indessen der seltenere Fall. Senft fand in der Regel 2—25% anderer Mineraltrümmer, z. B. im Sand aus der Provinz Brandenburg 17% Orthoklas und 2% Hornblende, aus der Lausitz 25% Orthoklas und etwas Glimmer, aus der Lüneburger Heide fast 4% Basaltkörner, aus Mecklenburg 10% Orthoklas und 2% Basaltkörner u. s. f.**). Von seiten der Versuchsstation zu Wageningen sind zahlreiche Analysen holländischer nicht urbarer Diluvialsandböden und Seesandböden ausgeführt worden, von denen einige neben einer Analyse von Fallou, die auf nord-deutschen Heidesand Beziehung hat, hier ihren Platz finden mögen:

	Heide (bei Wageningen)	Heide (Drente)	Seesand (Friesland)	Heide (Norddeutschland)
Kieselsäure	0,05 %	—	0,9 %	—
Thonerde	0,42 „	—	0,6 „	—
Eisenoxyd	0,62 „	0,05 %		—
Kalk	Spuren	0,03 „	0,1 „	0,04 %
Magnesia	—	0,01 „	0,3 „	0,02 „
Kali	0,01 %	0,01 „	0,08 „	0,04 „
Natron	0,01 „	—	0,02 „	—
Phosphorsäure	0,04 „	0,02 „	0,06 „	0,04 „
Schwefelsäure	0,02 „	Spuren	0,06 „	0,02 „
Kohlensaurer Kalk	—	—	3,75 „	—

Der Seesandboden ist unter diesen Böden bei weitem der reichste, während die anderen hinsichtlich ihrer Armut eine traurige Übereinstimmung zeigen. Aber selbst jener ist entschieden arm gegenüber einem dicht neben ihm gebildeten Kleyboden, wovon eine Analyse sogleich mitgeteilt werden wird.

Dann ist schon hier darauf hinzuweisen, dass sich der Sandboden in seinen physikalischen Eigenschaften ausserordentlich von dem Kies- und Geröllboden unterscheidet und dass im Gegensatz zu diesem durch geeignete Behandlung in allen

*) Vergl. a. a. O., p. 2.

**) Landw. Jahresber., 1867/68, p. 8.

Fällen etwas aus ihm gemacht werden kann, — wie? werden wir dann später sehen. In der That finden wir blühende Länderstriche, deren Boden an sich aus einem sehr armen Sand besteht und die durch die Kultur nach und nach fruchtbar geworden sind.

Als drittes Glied jener aus den krystallinischen Massengesteinen sich bildenden Verwitterungsmasse haben wir dann die *chemischen Zersetzungsprodukte* von äusserst feiner Zerteilung zu besprechen. Wir haben dieselben als thonige Masse bezeichnet, und diese Bezeichnung ist trotz der Verschiedenartigkeit der Zusammensetzung dieser Verwitterungsprodukte insofern richtig, als kieselsaure Thonerde stets ein wesentlicher und der weitaus vorherrschende Bestandteil derselben ist, wenn auch je nach dem Muttergestein, dem sie entstammen, und durch die regelmässige Beimischung des oben besprochenen feinen Steinschliffs noch alkalische Erden, Eisenoxyd, Alkalien u. s. w. an ihrer Zusammensetzung sich beteiligen. Wenn wir dieses Verhaltens eingedenk bleiben, so können wir immerhin von jenen Produkten der chemischen Verwitterung als von einer thonigen Masse reden, wir werden dann auch immer an ihre ausserordentliche Aufschlammbarkeit unwillkürlich erinnert werden.

Wir haben schon in unseren Betrachtungen der letzten Vorlesung die sehr verschiedenen mechanischen Bedingungen der Ablagerung dieser Klasse von Verwitterungsprodukten von den der ihnen zunächst stehenden, des feinen Sandes, kennen gelernt, und so werden wir auch hier eine gesonderte Gesteinsbildung von seiten dieser thonigen Verwitterungsmassen zu erwarten haben. — Damit ist freilich nicht gesagt, dass nicht auch Zwischenglieder möglich wären. Unter gewissen Bedingungen, die namentlich dann werden realisiert werden können, wenn sehr bewegte Wassermassen, die Sand und Thon in Aufschlammung erhalten, plötzlich zur vollkommenen Ruhe gelangen, wird eine gemischte Ablagerung beider Stoffe möglich sein. Auch das plötzliche Einströmen von Süsswasser in Salzwasser nimmt den mitangeschlämmten Thonteilchen (aus Gründen, auf die wir noch zurückkommen werden) plötzlich zum grössten Teile ihre Aufschlammbarkeit*).

Die thonigen Teile dienen nun entweder zur direkten Bodenbildung, wie zu der des Kleybodens in den Marschen, dessen Entstehungsweise uns in der vergangenen Vorlesung ein lehrreiches Beispiel gewesen ist, oder — und dies ist jedenfalls der gewöhnliche Modus — es werden aus ihnen Ablagerungen auf dem Meeresgrund gebildet, die zu Gesteinen erhärten, auf analog zu erklärende Weise wie die Sandablagerungen zu Sandsteinen. Neben dem Drucke sind bei der Erhärtung der Thone auch noch die reduzierenden Eigenschaften von organischen Stoffen, deren wir in unserer Erdgeschichte noch nicht erwähnt haben, die aber, eine je grössere Ausdehnung das organische Reich mit der Zeit gewinnt, in um so stärkerem Maasse den Verwitterungsprodukten beigemischt sein müssen, jedenfalls von Einfluss. Hierdurch entstehen Eisenoxydverbindungen und Pyrite, die als neu entstehende

*) Die reinsten Thonablagerungen geschehen ohne Zweifel in der Tiefsee, wo der später zu besprechende kohlensaure Kalk durch das Übermaass von Kohlensäure, das wegen des enormen Druckes dort in grösseren Mengen gelöst bleiben kann, wieder in Auflösung gebracht wird. Nur Meteorstaub scheint sich dabei zuzumischen.

chemischen Verbindungen zur Verkittung des Mineralgemenges sicher beitragen. Die dunkle Färbung z. B. des unverwitterten Thonschiefers zeigt die Mitwirkung solcher Bestandteile.

Gesteine, die ihre Entstehung wesentlich auf diese thonigen Elemente zurückleiten, heissen dann *Thone*, *Schieferthone*, *Thonschiefer* etc.; sie kommen ebenso wie Sandsteine durch die ganze Reihenfolge von geologischen Epochen hindurch vor, von der ältesten bis zur neuesten Zeit, und ihre Erhebung aus dem Meeresgrund muss selbstredend auf die nämlichen Niveauveränderungen der Erdoberfläche wie dort zurückgeführt werden. Die Zusammensetzung solcher Thonablagerungen ist natürlich je nach dem Ursprung der verwitterten Teilchen, je nach deren Vermischung mit andern chemisch unveränderten Gesteinselementen u. s. w. sehr verschieden. Ferner muss man bedenken, dass man es schon in den Verwitterungsprodukten, die ein und derselbe Fluss mit sich führt, in der Regel mit solchen zu thun hat, die aus sehr verschieden gearteten Gebirgen stammen, und dass nun gar im Meere die thonigen Substanzen des verschiedensten Ursprungs in den allermeisten Fällen sich miteinander vermischen müssen. Wir werden also in diesen Meeresbildungen z. B. keinen reinen Kaolin erwarten dürfen, sondern stets Thone, die erhebliche Mengen von Eisen und alkalischen Erden in sich einschliessen.

Es seien auch hier wieder die Analysen einiger solcher thonigen Meeresbildungen mitgeteilt:

	Thonschiefer				Schieferthon	
	(Graubünden*)	(Harz)	(Fichtelgebirge)	(Bentheim**)	(Saarbrücken)	(England)
Organ. Stoffe	—	—	—	32,3 %	—	—
Kieselsäure	75 %	61,7 %	54,2 %	38,2 „	72,9 %	61,9 %
Thonerde	10,7 „	19,8 „	24,1 „	18,2 „	16,7 „	21,7 „
Eisenoxyd	5,7 „	10,1 „	11,4 „	5,6 „	Fe 5,6 „	Fe 4,7 „
Kalk	0,4 „	0,8 „	0,2 „	1,2 „	—	0,1 „
Magnesia	0,6 „	3,0 „	3,6 „	Spuren	0,9 „	0,6 „
Kali	2,5 „	2,0 „	2,1 „	1,7 %	1,4 „	3,2 „
Natron	3,4 „	1,3 „	0,8 „	0,5 „	0,8 „	0,3 „
Phosphorsäure	0,06 „	—	—	0,5 „	—	—
Schwefelsäure	0,11 „	—	—	Spuren	—	—

Daneben Analysen von einigen Böden seitens der Versuchsstation zu Wageningen, wobei aber wieder nur, wie dies bei Bodenanalysen zu geschehen pflegt, die säurelöslichen Bestandteile Berücksichtigung gefunden haben.

	Seekley (Friesland)	Rheinkley (bei Wageningen)	Rheinkley (bei Leyden)
Kieselsäure	1,2 %	0,3 %	0,16 %
Thonerde	2,8 „	1,7 „	1,09 „
Eisenoxyd		3,4 „	3,44 „
Kalk	0,5 „	1,0 „	0,51 „

*) v. Planta: Jahresber. f. Agrikulturchem., 1870—72, p. 15.

**) Analyse der Versuchsstation Wageningen. Die übrigen Zahlen sind Girard's Bodenkunde, 1868, p. 112, entnommen.

	Seekley (Friesland)	Rheinkley (bei Wageningen)	Rheinkley (bei Leyden)
Magnesia	0,7 ‰	0,7 ‰	0,34 ‰
Kali	0,24 „	0,13 „	0,13 „
Natron	0,5 „	—	0,02 „
Phosphorsäure	0,10 „	0,24 „	0,13 „
Schwefelsäure	0,52 „	0,04 „	0,16 „
Kohlens. Kalk	9,8 „	0,5 „	—

Für die Zusammensetzung der Thone ist ganz allgemein gültig, dass die einzelnen chemischen Bestandteile der Gesteine mit ziemlicher Gleichmässigkeit in denselben verbreitet sind. Im Kaligehalt nähern sie sich, abweichend von den meisten Sanden, wieder den Massengesteinen, und dies ist schon aus der besprochenen Wiederbildung zusammengesetzter Silikate, die vor sich geht, sobald neben Kieselsäure und Thonerde Eisen oder alkalische Erden vorhanden sind, oder wenn die Verwitterung der Alkalifeldspate unvollständig verläuft, verständlich.

Phosphorsäure, die auch hier bei der Analyse gewöhnlich übersehen ist, wird, wenn man nach ihr sucht, auch ausnahmslos gefunden. In einem Thonschiefer (von Tharand) hat Stöckhardt*) selbst 0,76 ‰ Phosphorsäure gefunden, was für eine Ackererde eine sehr grosse Menge wäre. Für die Phosphorsäure scheint bei der Verschwemmung der Verwitterungsprodukte, aus denen dieselbe wegen der Schwerlöslichkeit ihrer Verbindungen nicht leicht durch atmosphärische Wässer ausgezogen wird, das Verhalten derart zu sein, dass eine ziemlich gleichmässige Ablagerung derselben in allen neuentstehenden Gesteinen stattfindet. In den Kleyböden dagegen ist sie beinahe ausnahmslos viel reichlicher vorhanden als in den Sandböden.

Es ist, um diese und andere Besonderheiten zu erklären, darauf aufmerksam zu machen, und zum Teil ist dies schon aus den angeführten Analysen ersichtlich, dass Thonböden und Sandböden einerseits grössere Extreme des Gehalts an Pflanzennährstoffen darstellen, als Thonsteinböden und Sandsteinböden andererseits. Die Sandsteine haben eben ihre Bindemittel, wodurch die unlöslichen Mineralien aneinandergel kittet sind. Weiter wirkt in dieser Richtung noch der Umstand, dass unter dem hohen Drucke und den damit verbundenen Wirkungen erhärtete Thonsteine erst wieder verwittern müssen, bis sie mit den angeschwemmten Kley- und Lehm Böden an Verfügbarkeit ihrer Bestandteile sich vergleichen lassen.

Was die gleichfalls vielfach ausser acht gelassene Anwesenheit von Schwefelsäure betrifft, so genügt, für alle Meeresbildungen zu bemerken, dass sie sich aus einem an schwefelsauren Salzen ziemlich reichen Medium abgesetzt haben und schon infolgedessen auch wenigstens geringe Mengen derselben enthalten müssen.

Mit den bis jetzt betrachteten Ablagerungen sind jedoch die Gruppen, unter welche sich die Neubildungen aus dem Verwitterungsmateriale der Massengesteine bringen lassen, keineswegs erschöpft. Wir finden unter den Flözgebirgen neben den Sandsteinen und Thonen (die gröberen Gesteinstrümmer spielen, wie gesagt, unter den Meeresbildungen keine hervorragende Rolle) noch eine dritte Gruppe von ausser-

*) Landw. Versuchsst., 1861, p. 105.

ordentlicher Ausdehnung, deren Entstehung sich aus den bisherigen Gesichtspunkten kaum verstehen lässt, die *Kalksteine*.

In jeder der vielen aufeinanderfolgenden geologischen Epochen finden wir unter den geschichteten Gesteinen mächtige Lager von kohlensaurem Kalk, und mächtige Gebirgsstöcke bestehen fast ganz und gar aus dieser chemischen Verbindung. Die versteinerten Muscheln und viele anderen petrefizierten Tiere finden sich ganz vorzugsweise in diesen Schichten. Die Kreide z. B. wird ihrer ganzen Masse nach gebildet durch die wesentlich aus kohlensaurem Kalk bestehenden Schalen untergegangener kleiner Seetiere.

Wenn nun die Frage entsteht nach der Bildungsweise dieser ausgedehnten Schichten, deren Material als solches sich nicht unter den Verwitterungsprodukten jener krystallinischen Urgesteine, von denen wir alle übrigen Bildungen abzuleiten haben, befand, so ist daran zu erinnern, dass ein Teil jener krystallinischen Gesteine, nämlich die Gruppe der eisen-kalkigen Gesteine, sich durch einen grossen Kalkreichtum auszeichnet. Dieser Kalkreichtum war zurückzuführen auf die Mineralspezies, Labrador, Augit, Hornblende, die jene Gesteine im wesentlichen aufbauen. Ich erinnere ferner daran, dass die Verwitterung dieser Gesteinsarten unter Austritt der grössten Menge der alkalischen Erden, namentlich aber des Kalkes vor sich geht, welche, in kohlen-saure Salze übergeführt und in der mehrfachen Menge freier Kohlensäure gelöst, das verwitternde Muttergestein verlässt*). In dieser gelösten Form gelangen die alkalischen Erden in Quellen, Bäche, Flüsse und, soweit sie nicht durch irgend welche chemische Aktion, z. B. in Folge einer Begegnung mit kiesel-saurem Alkali, niedergeschlagen werden, in das Weltmeer, immer noch gelöst in dem mit freier Kohlensäure beladenen Wasser, oder auch durch Wechselersetzung in Gips und ähnliche lösliche Salze verwandelt, worauf wir hier keine besondere Rücksicht zu nehmen brauchen. Wenn in dem Weltmeer früherer geologischen Epochen, in Bezug auf die Verhältnisse zwischen Kalkgehalt und dem Gehalt an freier Kohlensäure, nicht ganz andere und umgekehrte Verhältnisse bestanden haben wie heutzutage, so kann der kohlen-saure Kalk nicht einfach durch Verlust der freien, die Lösung bedingenden Kohlensäure niedergeschlagen worden sein, denn man hat berechnet, dass jetzt in unsern Meeren schon allein weit mehr Kohlensäure vorhanden ist, als zur Lösung des darin enthaltenen kohlen-sauren Kalks erforderlich wäre — von der lösenden Wirkung der Seesalze gar nicht einmal zu reden — obgleich wir auch jetzt noch alle Ursache haben, daselbst die Entstehung neuer Kalkablagerungen zu vermuten. Allein wir kennen eine andere Thatsache, die auch unter diesen Verhältnissen die Ausscheidung von Kalkablagerungen trotz des Vorhandenseins überschüssiger Kohlensäure möglich macht, — eine Thatsache, die ohne alle Widerrede zur Erklärung der Entstehung der Kalkgebirge mit herangezogen werden muss. Die Schalen der Muscheln und Schnecken sowie zahlreicher anderen zum Teil mikroskopisch kleinen Seetiere bestehen, wie eben erwähnt wurde und ganz allgemein bekannt ist, wesentlich aus kohlen-saurem Kalk. An den Meeresküsten werden dieselben zur Darstellung von gebranntem Kalk benutzt,

*) Daher, dass die thonigen Meeresbildungen (soweit sie nicht mit Muschelresten und dergl. vermengt sind) durchgehends so besonders arm an Kalk sind.

gerade wie im Binnenlande der Kalkfels. Die Schalthiere des Meeres bilden nun ihre Schalen im Meereswasser, also in einem Medium, das an sich lösend auf den kohlen-sauren Kalk wirkt; sie bringen indessen diesen kohlen-sauren Kalk ihrer Hülle dennoch durch eine uns noch unvollständig bekannte Thätigkeit*) zur Abscheidung und schützen denselben durch Überlagerung einer Schicht von organischer Materie hinlänglich gegen die schwach lösenden Kräfte des Seewassers und sogar gegen einige verdünnte organischen Säuren, die sonst den kohlen-sauren Kalk unter schwachem Brausen aufzunehmen pflegen — eine Thatsache, von der man sich leicht überzeugen kann. In der Form von Muschelschalen und anderen Kalkpanzern, wie Seeigeln, Korallen, Krinoiden, können also auch heute noch sehr grosse Mengen kohlen-sauren Kalks zur Abscheidung gebracht und so Ablagerungen bewirkt werden, wie die Kreide, die durch und durch wenigstens dem bewaffneten Auge ihren organischen Ursprung verrät. Beobachtungen des Meeresgrundes von Carpenter zwischen Schottland und den Faröerinseln lehren, wie auch andere Untersuchungen der Art, dass sich noch fort und fort neue Ablagerungen von den wesentlich aus kohlen-saurem Kalk bestehenden Hüllen niederer Schalthiere und den analogen Abscheidungen von Protisten bilden, so dass auch noch jetzt die Entstehung der Kalksteine im Meere namentlich an den flacheren Stellen desselben nach der eben dargelegten Weise als vor sich gehend gedacht werden muss**). — Nun brauchen wir uns nur noch ein zweites Moment hinzukommend zu denken, das jenen Ursprung aus organisierten Resten, z. B. durch vorübergehende Lösung, grossenteils verwischt (Verwaschungsprozess), und wir haben einen kompakten amorphen oder krystallinischen Kalkstein, wie der, aus dem unsere Gebirge bestehen, und der seinerseits wieder, bei Kontakt mit eruptiven Gesteinen, durch nachträgliche Schmelzung in den krystallinischen Marmor übergehen kann.

So kann man sich die Sache als vor sich gegangen etwa denken. Wir wollen dabei die noch offene Streitfrage, ob ausser dieser Bildungsweise von Kalkgebirgen noch eine rein chemische Abscheidung***) von Kalkkarbonat in gewissen geologischen Zeiten stattgefunden habe, den Fachleuten zur weiteren Erörterung überlassen. Jedenfalls steht fest, dass unter den Meeresablagerungen neben Sandsteinen und Thonen die Kalksteine eine Gruppe von hervorragender Bedeutung bilden und dass diese Kalksteine ihrer Substanz nach zweifellos auf die kalkhaltigen krystallinischen Gesteine zurückgeführt werden müssen, aus denen sie sich nur durch chemische Umformung und Verschleppung gebildet haben können.

*) Details hierüber bei Ochsenius: Biederm. Centralb., 1890, p. 577. CO_2 zersetzt mit Hilfe der in den Drüsen der Tiere stattfindenden Dissociation und Osmose NaCl in Na_2CO_3 und freie Salzsäure, von denen die letztere zu Verdauungszwecken dient. Aus Na_2CO_3 und CaSO_4 entsteht dann CaCO_3 ; aus HCl und Silikaten auch die Kieselsäure der Kieselpanzer.

**) Vergl. hierüber Häckel: Das Leben in den grössten Meerestiefen, p. 12 u. 35; indessen auch über Entstehung der Kreide Kaufmann: Verhandlungen der k. k. geol. Reichsanstalt, 1870, Nr. 11. Von Interesse in dieser Richtung sind auch die Untersuchungen von Neumayr über die „Terra rossa“ ebenda, 1875, Nr. 8.

***) Z. B., dass durch die Kohlenperiode viel CO_2 der Luft und dem Seewasser entzogen und daher von der Juraformation ab die kalkartigen Niederschläge mehr überwiegen.

Die Zusammensetzung einiger solcher Kalksteine ist:

	Silurkalk. (England)	Devonkalk. (Nassau)	Muschelkalk. (Schwaben)	Liaskalk. (Ellwangen)	Kreide. (Champagne)	Rogenstein. (England).
Kohlens. Kalk	90,1 %	82,2 %	77,9 %	78,7 %	97,6 %	95,4 %
Kohlensaure						
Magnesia	1,3 „	2,1 „	16,6 „	1,1 „	0,5 „	1,3 „
Kieselsäure	—	9,2 „	3,1 „	16,5 „	1,1 „	1,0 „
Thonerde und						
Eisenoxyd	2,3 „	5,8 „	1,4 „	2,9 „	0,6 „	1,4 „
Phosphorsäure*)	0,8 „	—	0,1 „	0,2 „	—	0,12 „
		Kali, Natron	0,3 „	0,2 „	Schwefelsäure	0,13 „

Magnesia wird in den Kalkablagerungen sehr regelmässig, aber in weit aus-
einandergehenden Verhältnissen gefunden. Die Magnesiasalze haben einen gemein-
schaftlichen geologischen Ursprung mit denen des Kalks, sie sind jedoch, wie wir ge-
sehen, der Auslaugung bei der Verwitterung weniger ausgesetzt und in Knochen und
Muschelschalen von weit beschränkterer Verwendung. Wir treffen diese Salze, soweit
sie überhaupt bei dem Verwitterungsprozess in das Wasser übergangen, deshalb in
grossen Mengen im Meere gelöst an und viele Kalkablagerungen nur von wenig Mag-
nesia begleitet. In manchen Kalkgesteinen vertritt jedoch die kohlensaure Magnesia
einen Teil des kohlensauen Kalks, — ein Verhältnis, das wahrscheinlich erst durch
sekundäre Prozesse (Metamorphosen mit Hilfe von gelösten Magnesiasalzen) zu stande
kommt; und geht dies bis zum ungefähren Vorhandensein gleicher Äquivalente von
Kalk und Magnesia, so heisst das so metamorphosierte Gebilde Dolomit. Dieses
Gestein ist nun in allen Übergängen zu Kalk vorhanden und wird als solches
nicht als selbständige Formation wenn auch in erheblicher Ausdehnung gefunden.

Wir haben schon früher erwähnt, dass da, wo sich im Weltmeer oder sonst im
Wasser gewisse Bedingungen der Ablagerung vorfinden, sandige und thonige Ab-
lagerungen sich miteinander mischen und so Gebirgsarten von intermediärem
Charakter bilden. Das Gleiche findet natürlich für die Kalkablagerungen einerseits,
für Sand- und Thonablagerungen andererseits statt, und man gebraucht teilweise
eigene Bezeichnungen für die Gesteine von solch gemischtem Charakter. *Mergel*
heisst in den meisten Fällen eine aus kohlensaurem Kalk unter Beimischung von
Thon bestehende feinpulverige Süsswasserbildung, und man unterscheidet dann wieder
zwischen Thon-, Kalk- und Sandmergel und sogar Dolomitmergel, je nach dem Vor-
wiegen oder dem neuen Hinzutreten eines oder des andern Bestandteils. Dass der
Thon als Beimengung dabei so bevorzugt wird, liegt an den schon angedeuteten, aber
noch später zu besprechenden Aufschlammungsverhältnissen, infolge deren in kalk-
freiem Wasser Thonteilchen wie gelöste Stoffe mit fortsickern, bis sie auf einen kalk-

*) Etwas Phosphorsäure ist stets in den Muschelschalen vorhanden; doch weist eine
Analyse von am Strande der Nordsee aufgelesenen Schalen seitens der Station zu Wageningen
nur 0,1% auf. Sind noch Reste der Weichtiere anwesend, dann ist der Gehalt etwas höher.
Vergl. auch über den Phosphorsäuregehalt von Muschelkalk- und anderen Kalkböden Württem-
bergs: Jahresber. für Agrikulturchem., 1865, p. 9; ferner Lüdecke: Biederm. Centralbl.,
1893, p. 795.

haltigen Untergrund stossen*). Als *Lehm* wird im allgemeinen ein sandhaltiger, nicht erhärteter oder besser ein Thon bezeichnet, der reich ist an kieselreichem Mineralschluff.

Es wird für unsern Zweck genügen, die Analysen einiger wenigen solcher Mischlingsgesteine hier aufzuführen.

	Thonmergel**)	Kalkmrgl.	Dolomitmrgl.	Mergel***)	Löss†).
	(Schwaben)	(Thüringen)	(Schwaben)	(Lüneburg)	(Elsenzthal).
Kieselsäure u. Sand	40,7 %	11,8 %	32,3 %	55—72 %	52,4 %
Thonerde	32,0 „	10,6 „	30,7 „	0,8—4,3 „	6,6 „
Eisenoxyd	8,9 „	1,5 „	3,4 „	Fe 2,8—7 „	2,8 „
Kohlens. Kalk	9,5 „	74,1 „	14,6 „	15—26 „	29,3 „
Kohlens. Magnesia	2,2 „	0,3 „	19,1 „	3 „	2,0 „
Kali	0,05 „	0,1 „	—	1,1 „	3,2 „
Phosphorsäure	—	—	—	0,5 „	0,4 „

Man ersieht aus den Analysen deutlich, dass sich die Bezeichnungsweise der einzelnen Mergel nach dem Vorherrschen des einen oder des anderen Bestandteils richtet. Der Löss ist jene rätselhafte Bildung, die neuerdings mehr dem Winde als dem Wasser zugesprochen wird; sie enthält ziemlich viele thonigen Bestandteile, zugleich aber viel Sand, wie aus dem verhältnismässig hohen Kieselsäuregehalt ersehen werden kann, und gleichzeitig auch kohlensauen Kalk. Wir werden sehr bald sehen, wie der kohlensaure Kalk in späteren geologischen Epochen auch an den Süßwasserbildungen Anteil nehmen kann, während es nach unsern bisherigen Kenntnissen noch befremden muss, ihn daselbst eine Rolle spielen zu sehen.

Aus den nun behandelten Gesichtspunkten lässt sich das Wesentliche der Bildung der geschichteten Gesteine sehr wohl verstehen. In jedem einzelnen Systeme dieser Meeresbildungen treffen wir von den ältesten Zeiten der silurischen Bildungen an bis zu den Ablagerungen unserer Tage die drei unterschiedenen Gesteinsgruppen und deren Mischlinge an, Thone, Sandsteine, Kalksteine und die Zwischenglieder dieser Gesteine, wenn auch die Kalksteine in den neueren Bildungen mehr vorherrschen. Schichten, deren Zusammensetzung sich nicht aus dem Charakter dieser drei unterschiedenen Gruppen ergibt, sind ganz lokalen Ursachen zuzuschreiben und verdienen daher bei der Theorie der Bodenbildung keiner eingehenderen Berücksichtigung. Es sind aber hier nur beispielsweise zu nennen die Gipsablagerungen, die Kochsalzlager u. dergl., deren Entstehung innerhalb der geschichteten Gebirge an dieser Stelle unser Interesse noch nicht in Anspruch nehmen darf.

Die angestellten Betrachtungen haben uns nun aber zugleich um die Kenntnis von neuen Bodenarten bereichert, die sich von jenen ursprünglichen, noch auf dem Muttergestein, aus dem sie hervorgegangen sind, aufgelagerten Bodenarten alle dadurch unterscheiden, dass sie angeschwemmte Böden sind. Wir haben unter diesen

*) Vergl. Lorié: Tydschrift der Nederl. Heidemaatschappij, III, p. 131.

**) Umgerechnet aus Girard's Angaben a. a. O., p. 113.

***) Wicke: Jahresber. f. Agrikulturchem., 68—69, p. 36.

†) Eine Zusammenstellung von Lössanalysen verschiedener Fundorte bei Sandberger: Journ. für Landw., Göttingen 1869, p. 216; ferner Hilger: Landw. Versuchsst., Bd. 18, p. 166.

zu unterscheiden *Schutt-* oder *Geröllböden*, die wesentlich Süßwasser- und Gletscherbildungen sind; *Thon-* und drittens *Sandböden*, welche beide Meeres- oder Süßwasserbildungen sein können. Unter diesen angeschwemmten Böden, die durch den eben ins Auge gefassten Prozess Entstehung genommen haben, sind jedoch, wohl-gemerkt, noch keine *Kalkböden* vorhanden, da aus Niederschlägen von kohlensaurem Kalk im Meere sich erst Kalksteine bilden können, dem Meer- und Flusswasser aber vorläufig noch kein Kalkpulver, *das mechanisch angeschwemmt werden könnte*, zu Gebote steht.

Allein mit den von uns betrachteten Vorgängen haben die Veränderungen auf der Erdoberfläche ihr Ende noch nicht erreicht. Die in der Stille des Meeresgrundes abgesetzten und zu festen Gesteinen erhärteten Trümmernmassen werden z. T. innerhalb der grossen geologischen Zeiträume in die Höhe gehoben, gleichviel ob durch Absturz von Teilen der bisherigen Kontinente in das Meer nur relativ — oder positiv durch irgend welche andere mechanischen Kräfte; sie werden Festland und türmen sich oft zu Gebirgen von schwindelnder Höhe empor. Diese periodischen Hebungen sind ja notwendig, um den Prozess der Stoffverschleppung zu einem kontinuierlichen zu machen, da die Denudation unter allen Umständen nivellierend wirkt. Nun machen natürlich die rastlos fortschaffenden zerstörenden Kräfte der Atmosphäre und des seinen ewigen Kreislauf vollziehenden Wassers sich wieder geltend, und sie haben häufig bei der Bearbeitung der geschichteten Gebirge leichtere Mühe als bei der vorhin besprochenen Zerstörung der massigen Gesteine. Die geschichteten Gesteinsarten, obwohl mitunter von grosser Festigkeit und Widerstandsfähigkeit, lassen häufig zwischen die einzelnen Schichten Wasser eindringen und bieten so Angriffspunkte für dessen mechanische Arbeit, für die chemischen Wirkungen der gelösten Gase dar. Ob ein Gestein mehr Widerstand leistet oder weniger, das hängt natürlich auch vorzugsweise von der Beschaffenheit des die einzelnen Teilchen zusammenkittenden Bindemittels, bei den Thongesteinen auch von der Vollständigkeit der in der Tiefe stattfindenden chemischen Prozesse ab. Diese bestehen, wie schon früher angedeutet, in Reduktion, Anhydritbildung aus wasserhaltigen Silikaten und dergl., kurz Reaktionen, die in jedem Stücke den Gegensatz bilden zu dem an der Oberfläche sich vollziehenden Verwitterungsprozesse.

Es tritt also nun von neuem Verwitterung ein. Das Bindemittel der Sandsteine wird durch kohlensaure Wässer verändert; die Sandkörner fallen auseinander*). Die Kalke werden in ihrer ganzen Masse durch dasselbe Agens angegriffen und gelöst, und ebenso können die Thone namentlich auch durch Anwesenheit von Eisenoxydul und Pyriten der chemischen Verwitterung einen Angriffspunkt bilden und auch mechanisch noch weitere Veränderungen, die sie mindestens ihres Zusammenhangs berauben, erfahren. Auf der zu Tage tretenden Fläche der geschichteten Gesteine bildet sich von neuem wie bei jenen Massengesteinen eine mehr oder minder dicke Verwitterungsschicht. So ist dann wieder Veranlassung zur Bildung einiger neuen Bodenarten gegeben, die auf ihrem Muttergestein aufliegend, als ursprüngliche Böden bezeichnet werden müssen,

*) Eine sehr interessante Detailstudie über die Verwitterung eines Sandsteins bei Stoklasa: Landw. Versuchsst., 32, p. 203.

nämlich als die ursprünglichen Böden der geschichteten Gesteine, die aber ihrer Zusammensetzung und ihren Eigenschaften nach den verschwemmten Böden manchmal weit ähnlicher sehen, denn sie sind ja mittelbar wirkliche verschwemmte Böden, und die mineralischen Bodenelemente sind in ihnen nach ihrer Aufschlammbarkeit geordnet enthalten. Ein ursprünglicher Sandsteinboden kann einem angeschwemmten Sandboden in seinem Verhalten natürlich aufs Haar ähnlich sehen, ebenso ein Thonschieferboden, nachdem er durch die Verwitterung glücklich fein zerteilt ist, mit einem angeschwemmten Thonboden in vieler Beziehung übereinstimmen.

Allein die so gebildete Verwitterungsschicht kann auch, wenn die Verhältnisse zur Fortspülung geeignet sind, wieder der Verschwemmung unterliegen und so neuerdings Veranlassung zu weiterer Umformung gegeben werden. Die von dem niederfallenden Regen in Bäche und Flüsse mit fortgerissenen Verwitterungsmassen werden einer ähnlichen Sonderung unterliegen, wie wir sie für die Verwitterungsprodukte der Massengesteine schon beobachtet haben. Auch jetzt werden unter Bedingungen, die von neuem auseinanderzusetzen unnötige Zeitverschwendung wäre, Geröllablagerungen gebildet werden, aber Ablagerungen, welche nicht bloss aus unverwitterten Trümmern der Massengesteine, sondern diesmal auch aus Kalk-, Sandstein- und Thonschieferbrocken bestehen. Die so gebildeten Schuttmassen werden nun zwar im wesentlichen das Verhalten zeigen, wie wir es für den Geröllboden, der aus den größten noch unverwitterten Trümmern jener Massengesteine entstanden ist, geschildert haben; nur wird der weitere Verwitterungsprozess, der sich an diesem Geröllboden vollzieht, je nach der spezifischen Beschaffenheit seiner Bestandteile in etwas abweichender Weise verlaufen. Aber alle die damals z. T. angedeuteten, so ausserordentlich schädlichen physikalischen Eigentümlichkeiten des Geröllbodens werden sich auch hier vorfinden.

Die feinere Verwitterungsmasse der geschichteten Gesteine wird dagegen weiter verschleppt werden. Die einzelnen Sandkörner, die sich nun wieder bei der Verwitterung des Sandsteins voneinander trennen, die wieder erweichen und sich fein verteilenden Thonmassen des zerstörten Thonschiefers werden, in die Bäche, in die Flüsse und endlich in das Meer gelangt, den früher geschilderten Verschwemmungsregeln unterliegen und je nach den nun vorhandenen Ablagerungsbedingungen zur Bodenbildung oder zu einer neuen Gesteinsbildung auf dem Grunde des Weltmeers dienen. So können natürlich auch bei diesem neu sich vollziehenden Prozesse aus gut gesonderten Gesteinen Mischlingsgesteine entstehen und umgekehrt. Auch hier werden in der Regel wieder die feinsten Schlammteilchen die meisten Pflanzennährstoffe in sich enthalten*), und in allen Fällen wird dies zutreffen, wenn man die Zugänglichkeit für die Vegetation mit veranschlagt.

Was an diesem Prozesse dem früher für die Massengesteine ins Auge gefassten unähnlich erscheint, das ist nur, wie schon angedeutet, dass nun auch der kohlen-saure Kalk als selbständiges Glied unter den durch Verschwemmung mechanisch absonderbaren Verwitterungsprodukten auftritt, während er früher nur gelöst in den

*) Vergl. v. Planta: Die Abschlammungsprodukte des Nollaschiefers (Landw. Versuchsstation, Bd. 15, p. 250).

kohlensäurehaltigen Wässern erscheinen konnte. Alle Flüsse, deren Quellen aus Kalkgebirgen kommen, oder die in ihrem Laufe solche Gebirge durchsetzen, führen auch fein zerteilte Kalkmassen in solcher Menge mit sich, dass die Kohlensäure des Flusswassers sie nun entfernt nicht mehr zu lösen vermag. Manche Flüsse führen einen wahren Kalksand mit sich, der ziemlich frei ist von anderen Bestandteilen, und bilden dann auf ihrem gelegentlichen Überschwemmungsgebiete wahre Kalksandböden, die, wenn sie aus unruhigem Wasser abgesetzt worden sind, wegen des Mangels an anderen Bestandteilen von grosser Unfruchtbarkeit sein können. Die Aufschlammbarkeit der feinen Kalkteilchen, welche jene Flüsse mit sich führen, ist übrigens eine sehr verschiedene, da der Kalk wegen seiner leichten Zerreiblichkeit sehr verschiedene Korngrössen annimmt. — Das spezifische Gewicht des Kalkspats ist dem des Quarzes annähernd gleich. — So sehen wir denn den zerkleinerten Kalk je nach der Feinheit seiner Teilchen und nach den Ablagerungsbedingungen mit dem Quarzsande zusammen neue Böden und Gesteine, noch häufiger aber mit thonigen Teilen zusammen mergelige Lehm Böden bilden. Oft treten auch alle drei Elemente gleichzeitig auf in den Ablagerungen des Rheines und vieler anderen Flüsse oder in den Lössbildungen, die übrigens in neuerer Zeit dem Winde zugeschrieben werden.

Vierte Vorlesung.

Die Entstehung der Ackererde. — Bodenklassifikation. — Die mechanische Bodenanalyse. — Veränderung des Bodens infolge des Pflanzenwuchses.

Ihrer *rein mineralischen* Beschaffenheit nach können, den Auseinandersetzungen der früheren Vorlesungen gemäss, sämtliche Böden etwa in folgende Klassen und Arten eingeteilt werden:

I. *Ursprüngliche oder Verwitterungsböden*; d. h. solche, die auf ihrem Muttergestein noch aufgelagert sind.

A. *Entstanden aus einem krystallinischen Massengesteine.*

1. *Feldspatböden* (aus Granit, Porphy, Trachyt etc., zuweilen sehr kalkarm).
2. *Augit- und Hornblendeböden* (aus Basalt, Diabas, Melaphyr etc.).
3. *Glimmer- und Quarzböden* (aus Glimmerschiefer, Gneis, Quarzfels, meist sehr arm an Nährstoffen).

B. *Entstanden aus einem geschichteten Gestein.*

4. *Sandsteinböden* (aus den verschiedenen Sandsteinen).
5. *Thonsteinböden* (aus Thonschiefer, Schieferthon etc.).
6. *Kalksteinböden* (aus Kalksteinen, Kreide, Dolomit etc.).

II. *Verschwemmte oder angeschwemmte Böden**) ; d. h. solche, die nicht mehr auf ihrem Muttergestein aufgelagert sind.

*) In Bälde wird man wohl auch noch eine dritte Hauptgruppe von Bodenarten, nämlich die *durch Verwehung gebildeten*, zu unterscheiden haben, die sich sehr wesentlich von den verschwemmten unterscheiden können. Hierhin gehören z. B. Löss, Dünenformationen und auch

7. *Schutt- und Kiesböden* (Grintgronden holl.) (aus allen möglichen Gesteinen).
8. *Sandböden*.
9. *Thonböden* (Kleigronden holl.).
10. *Lehmböden* (Zavelgronden holl.) (die Elemente der beiden letzteren Böden vermischt enthaltend).
11. *Kalkböden* (kommen verschwemmt nur selten in grosser Reinheit vor).
12. *Mergelböden* (Kalk und Thon vermischt enthaltend).

Eine solche Einteilung kann der Natur der Sache nach nicht all den Mannigfaltigkeiten der Wirklichkeit Rechnung tragen. Viele in der Natur vorkommenden Bodenarten sind natürlich als Übergangsglieder der hier aufgezählten anzusehen und finden als solche keine Stelle in einem derartigen System. Dieses bezweckt ja auch nichts, als den Überblick über die Verschiedenheiten der realen Aussenwelt zu erleichtern.

Um die feineren Nüancen zu bezeichnen, welche sich in der Natur unbekümmert um jede Einteilung vorfinden, hat man nun noch eine Menge von Namen gebildet, deren Bedeutung indessen fast selbstverständlich erscheint. Wir finden solche weitere intermediären Unterabteilungen zumal bei den verschwemmten Böden, die der Natur ihrer Entstehung nach in allen denkbaren Mischungen auftreten.

Den Sandboden kann man z. B. je nach der Grösse seines Kornes einteilen in *Flugsand*, *Quellsand*, *Perlsand* u. s. w., je nach dem Materiale, aus welchem die einzelnen Körner oder ein Teil derselben bestehen, in *Glimmersand*, *Feldspatsand*, *Kalksand* u. s. w., je nach der Mischung mit anderen Bodenarten wird er bezeichnet als *lehmiger*, *mergeliger*, *kiesiger Sandboden*.

Nach demselben Prinzip wird der *Lehmboden* zum *sandigen*, *mergeligen*, *kalkigen Lehmboden*, der *Mergelboden* zum *sandigen*, *lehmigen*, *kalkigen* u. s. f.

Man hat sich vielfach über diese Bezeichnungen zu einigen gesucht und dann einen ganz bestimmten Prozentsatz für die einzelnen Bodenbestandteile angegeben, von dem an der eine oder der andere Name gelten sollte. Für unsern Zweck hat es keinen Sinn, auf diese für manche speziellen Zwecke vielleicht nützliche, aber immer willkürliche und nicht allgemein adoptierte Terminologie weiter einzugehen.

Dagegen ist ferner auf den praktischen Nutzen der in unserer Einteilung gemachten Unterscheidung zwischen ursprünglichen und verschwemmten Böden aufmerksam zu machen, um so mehr, da ich früher die Bemerkung gemacht habe, dass ein ursprünglicher Kalkstein-, Sandstein- oder Thonschieferboden einem verschwemmten Kalk-, Sand- oder Thonboden ähnlich sehen kann, wie denn im Grunde die Entstehungsart beider die gleiche und nur eine direktere oder indirektere ist. — Allein es ist nicht ausser Augen zu lassen, dass die Gleichartigkeit nur für eine gewisse Tiefe besteht, dass nämlich bei einem ursprünglichen Boden die unter der Ackererde liegende Schicht aus genau demselben Materiale besteht, aus dem diese

Sandverwehungen in Niederungen, welche sich durch ihr gleichmässiges, feines Korn und die damit zusammenhängenden physikalischen Eigenschaften oft sehr deutlich von den ähnlich zusammengesetzten Grundmassen, woraus sie entstanden, unterscheiden. Doch hat der Gegenstand bisher noch keine übersichtliche Bearbeitung erfahren.

Erde selbst vor einiger Zeit noch ausschliesslich bestand, ehe Verwitterung, Pflanzenwachstum und vielleicht Kultur an ihr einen Verwandlungsprozess vollzogen; dass dagegen bei einem verschwemmten Boden jener Untergrund von einer in Bezug auf die zu Tage liegende Schicht rein zufälligen Beschaffenheit ist. Daraus folgt der praktisch wichtige Anhaltspunkt, dass es bei einem ursprünglichen Boden ganz allgemein gelingen muss, durch allmähliche Vertiefung der Ackererde wieder dieselben Stoffe in derselben chemischen Form auch für die Pflanzenwurzel zugänglich zu machen, welche schon vorher in der Ackererde vorhanden waren, während sich etwas Derartiges für die verschwemmten Böden nicht ohne vorhergehende Spezialuntersuchung schliessen lässt. Ganz dasselbe gilt dann natürlich auch für die physikalischen Eigenschaften des Untergrunds, und bei den verschwemmten Böden ist es z. B. eine allbekannte Erfahrung, dass sie häufig durch eine ganz abweichende physikalische Beschaffenheit des Untergrunds, namentlich grosse oder sehr geringe Durchlässigkeit*), ganz spezifische Eigentümlichkeiten dem Pflanzenwachstum gegenüber zeigen — Zustände, welche bei ursprünglichen Böden trotz noch so grosser mechanischer Verschiedenheit der Ackerkrume und des Untergrunds niemals in dem Grade eintreten können.

Es scheint mir hier schon der richtige Ort zu sein, der gewöhnlichsten Methoden Erwähnung zu thun, durch welche man sich im allgemeinen von der Zusammensetzung der Bodenarten, soweit diese für die eben angeführte und ihrem Sinn und Nutzen nach erläuterte Klassifizierung in Betracht kommt, Kenntnis verschafft. Dies kann nämlich nicht, wenigstens nicht bis zu den feineren Unterschieden herab, durch das Auge und die Lupe allein geschehen, wenn auch die Methoden, welche hierzu dienen, ziemlich einfache sind. -- Dieselben sind z. T. chemischer, z. T. mechanischer Natur.

Die erste hierhin gehörige mechanische Operation, die man vorzunehmen pflegt, besteht in einem einfachen Trennen der verschiedenen grossen Bodenteilchen durch Siebsätze, und zwar hat man gewisse Siebweiten gemeinsam adoptiert, um die von verschiedenen Untersuchern erlangten Resultate aufeinander beziehen zu können.

Man lässt die gesamte zu untersuchende Erde durch ein Sieb von $2\frac{1}{2}$ Millimeter Weite (in neuerer Zeit auch durch noch engere) hindurchgehen und bezeichnet das Durchgesiebte als *Feinerde*. Die auf dem Siebe zurückbleibenden Steine werden zunächst in ihrem Gewichtsverhältnis zur Feinerde, dann hinsichtlich ihrer Grösse bestimmt. Auch diese Sortierung geschieht durch Siebsätze von konventioneller Lochweite. Die Steine werden dann einer mineralogischen Prüfung unterworfen, und namentlich durch diese gelangt man sehr schnell zur Klarheit, ob man es mit ursprünglichen Böden, und mit Böden welcher Gebirgsart angehörig man es zu thun hat. Sind diese Steine stark abgerundet oder verschiedenen geognostischen Ursprungs, so hat man es mit einem verschwemmten Boden zu thun, und je grösser ihre Anzahl im Verhältnis zur Feinerde, um so mehr nähert derselbe sich einem Kies- oder Geröllboden.

*) Vergl. die zehnte Vorlesung.

Die Feinerde, welche im wesentlichen das chemische Verwitterungsmaterial, daneben eine Anzahl unverwitterter einfacher Mineralien, aber keine eigentlichen Gesteinstrümmer mehr enthält, wird dann weiteren chemischen und mechanischen Trennungs- und Bestimmungsmethoden unterworfen. Um sich von der Anwesenheit oder Abwesenheit von kohlensaurem Kalk zu überzeugen, wird die Erde mit Säuren behandelt und zugesehen, ob Aufbrausen (infolge der entweichenden Kohlensäure) stattfindet. In diesem Falle hat man es mit einer kalkhaltigen Erde zu thun, da mit Ausnahme der Magnesia, welche ja immer nur mit dem Kalke gleichzeitig im Boden aufzutreten pflegt, keine andere Base, als in Wasser unlöslicher Bestandteil, in erheblichen Mengen an Kohlensäure gebunden im Boden gefunden wird. Will man sich aber nicht bloss qualitativ von dem Kalkgehalt einer Bodenart überzeugen, sondern auch wissen, wieviel von diesem Bestandteil im Boden vorhanden ist, so bestimmt man entweder die Kohlensäure einfach durch Gewichtsverlust in einem einfachen, mit einem Chlorcalciumrohr versehenen Kohlensäureapparat; oder man ermittelt deren Menge in einem eigens für diesen Zweck konstruierten kleinen Apparat, aus dem eine dem Volum der entweichenden Kohlensäure entsprechende Flüssigkeitsmenge infolge des von jener erzeugten Druckes austritt, aus deren Menge man dann die entwichene Kohlensäure annähernd berechnen kann*). Beide Methoden ermöglichen es, sich sehr rasch über den Kalkgehalt eines Bodens Aufschluss zu verschaffen, und sind reichlich genau genug, um darauf die Bestimmung der Bodenart zu basieren.

Neben dem etwa vorhandenen Kalk ist es vor allem notwendig, um jene Klassifikation vorzunehmen, eine Kenntnis von dem Verhältnis zwischen Sand und Thon zu erhalten. Hierzu werden zweckmässigerweise nicht chemische Mittel, sondern rein mechanische benutzt. Ich brauche nur an jene für beide Bodenelemente naturgemäss verschiedene mechanische Beschaffenheit zu erinnern, auf die wir bei unseren Betrachtungen über die Entstehung sekundärer Ablagerungen die Verschiedenheit der sich so bildenden Gesteins- und Bodenarten hauptsächlich zurückgeführt haben — ich meine die so verschieden grosse Aufschlammbarkeit jener beiden Bodenelemente. Diese verschiedene Aufschlammbarkeit, welche wir deshalb als eine naturgemässe bezeichnet haben, weil der Thon als Produkt einer allen ursprünglichen Zusammenhang zerstörenden chemischen Umwandlung aus sehr feinen Teilchen besteht, während jedes Sandkorn für sich noch als unverändertes Mineralstück des ursprünglichen krystallinischen Gesteins zu betrachten ist, wurde nun auch bei der Methode der mechanischen Trennung der verschiedenartigen Bodenteilchen benutzt. Man ist bei der Erfindung dieser Methode bei der Natur in die Schule gegangen, ja hat sie jener geradezu abgesehen.

Wenn man eine Feinerde in einer Glasröhre so lange mit Wasser schüttelt, bis sich alle einzelnen Erdteilchen, die in dem natürlichen Zustande vielfach zu klumpigen Massen zusammengebacken sind, genügend zerteilt haben und mit dem Wasser aufgeschlämmt sind, und jene dann vertikal aufgestellt der Ruhe überlässt, so sinken die schwerst aufschlammbaren Erdteilchen zuerst nieder, später erst bei grösserer Ruhe des Wassers die feinern, leicht suspensiblen Teilchen, so dass sich deutlich

*) Auch der Scheibler'sche Apparat für Untersuchung der Knochenkohle leistet hier gute Dienste.

unterscheidbare Schichten bilden von grobem, dann immer feinerem Sand und den obenauf liegenden Thonteilchen, während die Kalkteilchen, je nach ihrer sehr verschiedenen grossen Feinheit, mehr dem einen oder dem andern Bodenelemente sich beigemischt zeigen. Die einfachste Methode der sog. Schlämmanalyse besteht nun in nichts anderm als in der Ausführung der eben beschriebenen Manipulation und in der Messung der Dicken der einzelnen abgesetzten Schichten, und man bekommt auf diese Weise schon einen ziemlich brauchbaren Blick über die Konstitution der dieser Operation unterworfenen Feinerde.

Die Schlämmanalyse hat aber eine sehr viel weitergehende Ausbildung erlangt, so dass es möglich wurde, die Bodenteilchen von verschiedener Suspensibilität nicht bloss sehr vollständig voneinander zu trennen, sondern auch die Masse der Teilchen jeder Sorte genau dem Gewichte nach zu bestimmen und ausserdem dieselben getrennt chemischen Operationen zu unterwerfen. Die Apparate, mittelst deren eine solche genaue Trennung gelingt, sind sehr verschiedener Natur, aber von leicht verständlicher Konstruktion. Ich will mich hier darauf beschränken, von dem meines Dafürhaltens besten dieser Apparate, von dem modifizierten Schöne'schen, einige Worte zu sagen, hinsichtlich der übrigen auf andere Orte verweisend*). Dieser in meinem Laboratorium vielfach gebrauchte Schlämmapparat besteht aus einem unten mit einem Glashahn versehenen konischen Gefässe, in welches die zu untersuchende Feinerde gegeben wird. Oben ist derselbe mit einem Korke geschlossen, durch welchen zwei Röhren gehen, eine umgebogene Abflussröhre für das von unten bei geöffnetem Hahn einfliessende Wasser und eine senkrechte Steigröhre oder Piëzometer, welche letztere durch die Höhe der darin aufsteigenden Wassersäule ein Maass abgibt für die Schnelligkeit des Wasserstroms, welcher durch Drehung des Zuflusshahns geregelt werden kann. So kann in ein und demselben Gefäss der Schlämmprozess beendet werden, und kann dabei die Erde in beliebig viele Bestandteile von verschiedener Aufschlammbarkeit zerlegt werden. Die durch das bewegte Wasser mitgeführten Teile werden in geräumigen Gefässen gesammelt und durch Absetzenlassen isoliert**).

Man sieht, das Prinzip dieses Apparates ist genau dasselbe wie jenes einfacheren, nur die Trennung der einzelnen Bodenteilchen eine vollkommenere, die es gestattet,

*) Vergl. z. B. den Bericht der Agrikulturchemikerversammlung vom Jahre 1869 in Halle, wo viel von der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Apparate die Rede war; ferner Neue landw. Zeitung, 1872, p. 837; Compt. rend., 1870, Juin 20.

**) Genaue Beschreibung dieses Apparats in Forsch. a. d. G. d. Agrikulturphysik, V. B., p. 228. Die Montierung, die im wesentlichen in einer Korrektur der Ausflussöffnung F besteht, erfolgt in der Weise, dass bei einem Piëzometerdruck von 5 cm in der Minute 100 ccm Wasser durchfliessen. Zur Beseitigung des kohlensauren Kalkes wird die Erde zuvor mit verdünnter HCl behandelt und so lange im Wasserbade gekocht, bis keine Thonteilchen, die z. T. mit Humus zusammengebacken sind, mehr loskommen. Das bei 2 cm Piëzometer Zurückbleibende ist nach dem Glühen als Sand zu bezeichnen. Den Thon kann man bequemer als durch Aufsammeln auch aus der Differenz bestimmen nach der Gleichung:

$$\% \text{ Thon} = 100 - \% \text{ Sand} - \text{Feuchtigkeit} - \text{CaCO}_3 - \text{Humus}.$$

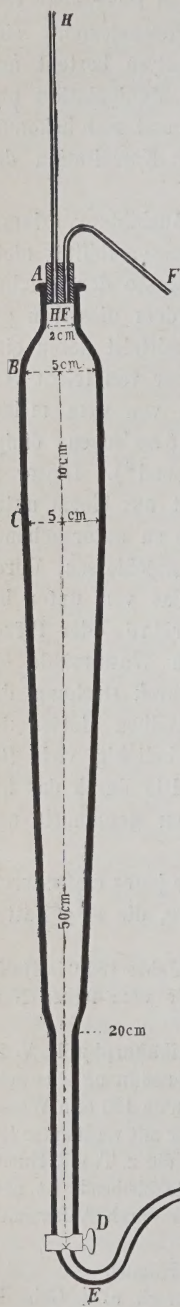
Unnötig lange soll übrigens nicht gekocht werden. Vergl. Osborne: Forsch. a. d. Geb. der Agrik.-Phys., 1888, p. 78.

genau anzugeben, wieviel von jeder Gruppe vorhanden ist, und weitere Untersuchungen der Schlämmmasse gestattet. Man kann so den Thongehalt, ebenso den Sandgehalt eines jenen Operationen unterworfenen Bodens bestimmen. Es ist leicht einzusehen, dass es so und mit Hilfe der übrigen einfachen Methoden gelingen muss, eine Ackererde ihrer Konstitution nach hinlänglich zu charakterisieren.

Hiermit ist dann freilich — und darüber werden wir in einer der nächsten Vorlesungen ausführlich zu sprechen haben — noch durchaus nicht das Verhalten eines Bodens der Vegetation gegenüber in jeder Hinsicht ermittelt, und namentlich kann der hier als Thon bezeichnete Bestandteil seiner näheren Zusammensetzung und seinem Gehalt an pflanzlichen Nährstoffen nach noch unendlich verschieden sein, und darum können zwei in Bezug auf das Verhältnis von gröberen Trümmern, Sand, Kalk und Thon, gleich konstituierte Böden sehr verschieden fruchtbar sein.

Auch physikalisch kann der abgeschlammte Thon noch sehr Verschiedenartiges repräsentieren, da nur die allerfeinsten Teile derselben dem Boden seine für Kulturzwecke manchmal sehr nachteiligen plastischen Eigenschaften verleihen. Aber mit dem Schlämmen nach dem eben beschriebenen Prinzip ist hier nicht weiter zu kommen, da der Thon namentlich aus Böden mit vielen salzigen und kalkigen Bestandteilen bei sehr langsamem Schlämmen Aggregate bildet, welche die Aufschlammungsunterschiede verwischen. Will man hierin noch weiter gehen, so muss man sich des von dem californischen Agrikulturchemiker Hilgard benutzten komplizierten Apparates bedienen, in welchem ein mechanisch getriebenes Rührwerk die Bildung jener Aggregate verhindert*).

Der eben besprochenen einfachen analytischen Methoden wurde hier nur Erwähnung gethan, weil sie ein Mittel abgeben zur Einreihung einzelner Bodenarten in die erwähnten Klassen. Die Schlämmmethode hat namentlich für solche Fälle eine sehr erhebliche praktische Bedeutung, wo es sich um die Bonitierung landwirtschaftlich noch ganz unbekannter Böden, z. B. da, wo er noch mit Wasser bedeckt ist und es sich um die Frage der Rentabilität einer Trockenlegung handelt**) oder wo man



*) Vergl. E. W. Hilgard: Report of work of the Agricult. Exper. Stations of California, 1891—92, p. 248. Die Resultate des im Texte empfohlenen Schlämmapparates bleiben übrigens durch diese Feinheiten unberührt, da die Stromschnelligkeit in diesem Apparate für die Abscheidung von Thon auf 0,34 mm pro Stunde sich berechnet und erst unterhalb der Stromschnelligkeit von 0,25 mm (also bei einem Piezometerdruck von $1\frac{1}{2}$ cm) die von H. gerügten Fehler beginnen.

**) Vergl. Journ. f. Landwirtschaft, 1890, p. 157.

in den Kolonien Konzessionen zur Analyse von Plantagen zu erlangen unternimmt.

Um eine genügende Vorstellung zu erhalten von dem Einfluss, den verschiedene Bodenarten auf das Pflanzenwachstum ausüben, müssen wir übrigens noch von einer grossen Reihe der allerverschiedensten Bodeneigenschaften handeln, was in den letzten Vorlesungen dieses Abschnittes geschehen soll.

In unseren bisherigen Darstellungen haben wir nun einen Überblick gewonnen über drei Momente, die für die Zusammensetzung und die Eigenschaften eines Bodens von hervorragender Bedeutung sind. Es waren dies *die ursprüngliche Beschaffenheit und Zusammensetzung der Gebirgsart*, aus deren Zerstörung die Ackererde resultiert, *Art und Intensität der Verwitterungsprozesse*, die ein solches Gestein durchmachen musste, um zur betreffenden Ackererde zu werden, und endlich die *Verschwemmung und die andern mechanischen Trennungsprozesse*, denen die Verwitterungsprodukte unterworfen waren, bis sie sich zu der betreffenden Ackererde gruppieren.

Diese drei Momente waren es auch wesentlich, welche sich wieder in der bis jetzt gegebenen systematischen Zusammenstellung der einzelnen Bodenarten spiegelten.

Wir haben aber schon zu Eingang der Betrachtungen über die Entstehung der Ackererde hervorgehoben, dass mit fast ausnahmsloser Regelmässigkeit sich noch andere Momente als diese rein geologischen an der Entstehung der Ackererde beteiligen, und haben bereits angedeutet, worin diese weiteren Momente bestehen. Es musste zwar zugegeben werden, dass eine auf die bisher erläuterte Weise entstandene oberflächliche Erdschicht nicht schlechthin unfähig ist, Pflanzen zu tragen; denn wie könnte alsdann eine Occupation von bis dahin unbewachsenem Terrain durch die Pflanzenwelt vorgenommen werden, oder wie sollten wir uns alsdann den Beginn des Pflanzenlebens auf der Kruste unseres erkalteten Planeten denken? — Allein nichtsdestoweniger ist es leicht, die Behauptung zu verteidigen, dass eine für unsere anspruchsvolleren Gewächse wirklich fruchtbare Ackererde sich ganz ausnahmslos noch in manchen Stücken von dem durch rein chemische und physikalische Prozesse gebildeten Boden unterscheidet, und so haben wir neben den bis jetzt betrachteten Momenten der Entstehung der Ackerkrume noch ein weiteres, das *der Einwirkung des Pflanzenwachstums* auf den Verlauf dieser Bildung, zu betrachten.

Fast alle aus den bisherigen Gesichtspunkten in ihren Eigenschaften abzuleitenden Böden bieten der Pflanzenwelt zwar unter Umständen die ihr nötigen Aschenbestandteile in Hülle und Fülle dar, aber es fehlt durchgehends an der gehörigen Menge von stickstoffhaltigen Nahrungsmitteln, welche für das üppige Gedeihen vieler, namentlich der Kulturgewächse notwendig sind; es fehlt ferner an einer Anzahl leichter entbehrlicher, aber doch sehr förderlicher Vegetationsbedingungen, die in der folgenden Darstellung aufgezählt werden sollen. — Um absolut unentbehrliche Bedingungen für das Gedeihen aller einzelnen Glieder der ganzen Pflanzenwelt kann es sich hier freilich nicht handeln, da sonst, wie schon angedeutet, jede Vegetation schon das Vorhandensein einer andern voraussetzen würde, wohl aber um für das gedeihliche Wachstum einzelner Gruppen sehr nützliche. Um die anspruchslosesten in dieser Hinsicht kennen zu lernen, muss eben hier wieder an jene Pioniere der

Pflanzenwelt auf unwirtlichem Terrain, an die Flechten*) (unter diesen hauptsächlich *Lecanora*- und *Parmelia*-Arten) und Algen und unter den höhern Pflanzen an die genügsame Krüppelföhre, an Ginster (*Sarothamnus*- und *Genista*-Arten) und Heidekraut und dergleichen erinnert werden, welche die Besitzergreifung neuer, von Organismen bis dahin unbewohnter, Territorien ermöglichen. Übrigens machen auch die meisten Waldbäume wenig Ansprüche an pflanzliche Überreste im Boden, und deshalb werden zweckmässig bis dahin wüste Ländereien durch vorübergehende Waldkultur in Besitz genommen und urbar gemacht.

Die Einflüsse, welche die Vegetation und die sich daran anknüpfenden Ercheinungen auf Eigenschaften und Zusammensetzung des Bodens ausüben, lassen sich wieder unter mehrere Gesichtspunkte bringen. Es werden zunächst die Einwirkungen betrachtet werden können, welche die *Pflanzenwelt auf die Bodenbildung durch Beförderung der Verwitterungserscheinungen ausübt*, dann wird auf das *Hindernis* aufmerksam zu machen sein, welches die *Pflanzenwelt einer Verschleppung der einmal gebildeten Verwitterungsschicht entgegensetzt*, und zuletzt werden dann die *Folgen der Einverleibung der Pflanzensubstanz*, die ihren Elementen nach vorzugsweise aus der Atmosphäre stammt, für die *Eigenschaften der Ackererde* Besprechung finden.

Wir haben früher gesehen, dass der Wurzel der Pflanze nicht bloss die passive Fähigkeit der Aufnahme derjenigen Stoffe, die im Bodenwasser gelöst enthalten sind, zukommt, sondern ausserdem die *aktive Thätigkeit, ungelöste Substanzen*, die mit den feinsten Wurzelverzweigungen in unmittelbare Berührung kommen, in *Lösung überzuführen* und in sich aufzunehmen. Es müssen auch unter Umständen saure Wurzelausscheidungen, wenigstens Ausgabe von Kohlensäure, welche namentlich in an verwesenden Stoffen armem Boden von Bedeutung sein werden, für möglich erachtet werden, so dass durch die Vegetation selbst ein die Verwitterung hauptsächlich veranlassendes Medium in den Boden gelangt und so Stoffe in Lösung übergeführt werden, die nicht samt und sonders direkt von den wachsenden Pflanzen assimiliert zu werden brauchen oder, wenn dies der Fall sein sollte, doch in den Verwesungsresten wieder einer späteren Vegetation zu gute kommen**).

*) Über die Leistungsfähigkeit der Flechten in dieser Hinsicht vergleiche besonders Göppert: Landw. Versuchsst., 1861, p. 81. Über den Anteil der nitrofizierenden Organismen an dem Verwitterungsprozess A. Müntz: Compt. rend., 100, p. 1370.

**) Dietrich hat Versuche angestellt, durch welche direkt die durch eine Reihe von Pflanzen aus bestimmten Felsarten in Lösung gebrachten Mineralstoffe festgestellt wurden. Er fand, dass

	aus Buntsandstein	aus Basalt
3 Lupinenpflanzen	0,608 gr	0,749 gr
3 Erbsen „	0,481 „	0,713 „
20 Spörgel „	0,268 „	0,365 „
10 Buchweizenpflanzen	0,232 „	0,327 „
4 Wicken „	0,221 „	0,251 „
8 Weizen „	0,027 „	0,196 „
8 Roggen „	0,014 „	0,132 „

mehr Mineralsubstanz in Lösung übergeführt hatten, als durch blosser Verwitterung schon geschehen war; vergl. I. Ber. der Versuchsst. Heidau, p. 83. — Eine analoge Wirkung

Daneben sind rein *mechanische* Wirkungen zu unterscheiden. Die Wurzeln verzweigen sich im Boden und dringen in alle weicheren Teile desselben ein, unter anderem auch in die Ritzen und Spalten der noch unvollkommen zertrümmerten Felsunterlage. Dieselben zeigen aber natürlich auch ein Dickenwachstum, wobei sie dieser Volumzunahme in den Weg tretende Hindernisse mit grosser Kraft beseitigen. So kommt es, dass die sich durch Wachstum ausdehnenden Wurzeläste häufig eine Felsspalte, in die sie in ihrem jugendlichen Zustande mit Leichtigkeit eingedrungen sind, ihrem Querschnitt nach ganz erfüllen und später mächtig zu erweitern streben, genau wie dies das gefrierende Wasser thut. Nicht dass die schwellenden Wurzeln die Felsstücke geradezu zu verrücken brauchten; nein, diese verrücken, Temperaturänderungen zufolge, sich selber; dann dehnen sich die Wurzeln und die Felsstücke können die alte Gleichgewichtslage nicht wieder finden. Die Wirkung ist in der That dieselbe; die Felsstücke werden in ihrem Zusammenhang mit andern gelockert und weiteren Verwitterungsmomenten zugänglich gemacht. Man hat an Bergwänden und in Hohlwegen sehr häufig Gelegenheit, diese Wirkung zu beobachten. Auch der Epheu in Mauerspalten verhält sich ebenso.

Sehr leicht nachzuweisen sind die wichtigen *Hindernisse*, welche das Pflanzenwachstum der *Verschleppung der Verwitterungsschicht* durch das abfliessende Wasser entgegensetzt. Wir haben früher genau besprochen, wie diese Verschleppung zu stande kommt, und auf diesen Vorgang mittelbar oder unmittelbar die Bildung aller der Bodenarten basiert, die nicht ursprüngliche und aus einem der Massengesteine entstanden sind. Diese Verschleppung ist, trotz der Bedeutung dieses Vorgangs bei der ersten Bildung einer grossen Anzahl von Bodenarten, in den meisten Fällen für den fertigen in Kultur stehenden Boden nichts weniger als ein willkommener Vorgang. Alle hochgelegenen und nahe an abschüssigen Stellen befindlichen Gesteinsoberflächen würden niemals eine für ein erhebliches Pflanzenwachstum genügende Verwitterungsschicht auf sich ansammeln können, wenn der Platzregen und die rasch abfliessenden Wassermassen nach Belieben schalten und walten könnten. Diese würden notwendig stets wieder von neuem alles, was nicht fest ist, hinwegführen, und die rasch fortschreitende Verwitterung würde gleichsam umsonst gearbeitet haben und überall der blankgewaschene Fels zu Tage treten.

Diese für den Pflanzenbau völlig verderbliche Beweglichkeit der Verwitterungsmasse und der fertigen Ackerkrume wird nun durch einen Bestand mit Pflanzen in äusserst wirksamer Weise verhindert. Es ist jedermanns Erfahrung leicht zugänglich, dass ein mit einer Rasenschicht bedeckter Damm einem Wasseranprall Widerstand zu leisten vermag, dessen Wucht ein ebenso fester, aber vegetationsleerer Damm unfehlbar erlegen wäre, und man macht bekanntlich von dieser Erfahrung

der Wurzel und ihrer Ausscheidungen ist auch für manche organischen Substanzen durch Versuche nachgewiesen worden. Gazzeri und Taddei fanden, dass Hornspäne, koaguliertes Eiweiss, Elfenbeinspäne in Blumentöpfen, in welchen Pflanzen wuchsen, rascher verschwanden als in vegetationsleeren — ein Vorgang, der jedenfalls auf ganz ähnliche Gesichtspunkte zurückgeführt werden muss. Vergl. über diese Versuche Mulder: Chemie der Ackerkrume; Berlin 1863, II, p. 61. — Über den Einfluss der Pflanzenwurzel auf die Verwitterung vergl. auch R. Hoffmann: Ackerbauchemie etc., 1866, p. 20.

an Meeresküsten und Flussufern die ausgedehnteste Anwendung. Die Thatsache erklärt sich einfach aus der feinverzweigten Bewurzelung der Grasgewächse*), wodurch ein jedes Bodenteilchen festgehalten und eine innige Verfilzung der ganzen oberflächlichen Bodenschicht hervorgerufen wird. In der That leisten fest verflochtene Gewebe, Weidengeflecht und dergleichen, womit man auch gelegentlich Dämme vor dem Andrang der Fluten schützt, etwas Ähnliches. Der Wogendrang ist stark genug, um Körnchen um Körnchen, Steinchen um Steinchen loszulösen, wenn sie isoliert sind. Bildet aber das Ganze eine solidarische Masse dar, so ist der Widerstand, gleich dem jenes Pfeilbündels im Märchen, ein um das Vielfache grösserer; und zu dieser Solidarität giebt eben das Wurzelgeflecht das beste Bindemittel ab. — Jedem, der einmal ein Loch gesehen, welches die Flut in einen bewachsenen Deich geschlagen hat, wird an der Form desselben die Wirkungsweise der Pflanzenschutzdecke erkennen. Das einmal vorhandene Loch wird tief ausgehöhlt, während daneben die unbeschädigte Rasendecke liegt.

Eine ganz analoge, nur etwas kompliziertere Rolle spielt der Pflanzenwuchs und insonderheit der Wald auf unseren Gebirgen, wo die Gefahr für ein stetiges Wegspülen der dünnen Verwitterungsschicht eine sehr dringliche ist. Ein guter Waldboden, der mit Pflanzenresten aller Art und einer üppigen Moosvegetation bedeckt ist, verhält sich einem Schwamm nicht unähnlich**), denn er vermag in der Regenzeit grosse Wassermengen in sich aufzunehmen, die er nur langsam fließen lässt. — Ich rede hier nicht von den Vorteilen, die eine solche Aufspeicherung von Wasser für die Wasserversorgung der Bäume selbst hat, sondern nur von den Abänderungen, welche das geschilderte Verhalten auf den Abfluss des gefallenen Wassers und die Wirkungen desselben ausübt. Einmal wird die Macht des niederstürzenden Regens schon durch die oberirdischen Pflanzenteile***), namentlich die dichten Kronen der Bäume, sehr wesentlich gemindert — ein auf der Hand liegender Vorteil für das Bestehen des Bodens; und dann wird der Boden gegen die Wirkung des an den Bergwänden herniederrieselnden Wassers durch die Baumwurzeln und ebenso durch den Bestand mit niedrigen Pflanzen, deren Wurzeln sich mannigfach verfilzen, natürlich kräftig geschützt.

Der wichtigste Schutz aber, welchen der Wald der Ackerkrume gewährt, ist darin zu suchen, dass er in der eben angedeuteten Weise den langsamen Abfluss des gefallenen Wassers in die Thäler bewirkt. Von unbewaldeten Höhen stürzt der

*) Vergl. schon Wicke: Journ. für Landw., 1864, p. 415.

**) Totes und lebendes Moos verhält sich dabei sehr ähnlich. Vergl. Oltmanns: Biederm. Centralbl., 1885, p. 299. Über die Bedeutung der abgefallenen Blätter für das Verhalten eines Waldbodens dem Wasser gegenüber vergl. u. a. Krutzsch: Chem. Ackerm., 1863, p. 15 u. f.

***) Regenwasser in verschiedenen Beständen aufgestellt, lehrten, dass von der auf einen Wald fallenden Regenmenge im Durchschnitt des Jahres ungefähr $\frac{3}{4}$ der gefallenen Wassermenge direkt auf den Boden des Waldes gelangt (vergl. Ebermayer: Die physikalischen Einwirkungen des Waldes etc., 1873, p. 205; aber auch dieses Wasser ist durch das Aufschlagen auf die Blätter in seiner Kraft vielfach gebrochen). Durch Fichten wird viel mehr zurückgehalten als durch Buchen (Bühler: Mitt. d. schweizer. Zentralanst. für forstl. Versuchswesen II).

eben niedergefallene Regen fast unmittelbar in reissenden Bächen in die Schluchten herab, reisst auf seinem Lauf die durch Verwitterung gebildete Schicht mit sich fort und erzeugt in den Flusstälern schnell anwachsende und ebenso schnell wieder verschwindende Überschwemmungen. Bei diesem stürmischen Niederstürzen des Wassers gelangt nun auch der mit fortgerissene Boden des Gebirgs in den Thälern nicht zur Ablagerung, sondern diese werden mit unfruchtbarem Schutte überführt, so dass zugleich Berg und Thal eines unentbehrlichen Teils ihrer Vegetationsbedingungen beraubt wird. Rasch ansteigende und verwüstende Überschwemmungen mit den eben geschilderten Wirkungen einerseits, grosse Trocknis der Flusstäler in der regenlosen Jahreszeit andererseits, dies sind die unausbleiblichen Folgen der mangelnden Waldungen im Gebirge, während ein üppiger Waldbestand auf den Höhen dem Abfluss des Wassers mit einem Male alle diese Schrecknisse nimmt und nur dessen Wohlthaten empfinden lässt. Ein solcher bewirkt, dass der Abfluss langsam vor sich geht, auch bis in die trockene Jahreszeit vorhält, und aus diesem Grunde hauptsächlich sehen wir in Deutschland unterhalb unserer bewaldeten Höhen lachende Wiesenthäler, während wir in Oberitalien und vielen Gegenden Südfrankreichs Überschwemmungsgebieten, mit Trümmernmassen überdeckt, anstatt eines Flussbettes begegnen, zwischen denen wir im Sommer Mühe haben, einen dünnen Wasserfaden zu entdecken. Dies ist einer jener Gesichtspunkte, auf die sich der sogenannte Einfluss der Wälder auf das Klima*) zurückführen lässt.

Neben den Wäldern sind in dieser Beziehung auch die flachgeschliffenen Gebirgen häufig aufgelagerten Hochmoore zu nennen, die gleich jenen eine sehr ausgiebige Wasserspeicherung bewirken und nur den Nachteil haben, dass sie selber unproduktiv sind.

Bei weitem am wichtigsten ist trotz alledem die in dritter Linie unterschiedene Einwirkung des Pflanzenwuchses auf die Eigenschaften der Ackererde; ich meine die Veränderungen, die in derselben *durch Einverleibung der auf ihr produzierten Pflanzensubstanz* unmittelbar und mittelbar verursacht werden. Nach dem natürlichen Lauf der Dinge sterben die gewachsenen Pflanzen nach einer grösseren oder kleineren Reihe von Monaten oder Jahren ab und lassen ihre gesamte Masse, soweit sie nicht von Tieren verzehrt worden ist, auf dem Boden, der sie ernährte, zurück. Die Pflanzensubstanz enthält eine gewisse Menge Wasser, auf dessen Vorhandensein wir hier keine Rücksicht zu nehmen brauchen, eine Reihe von mehr oder minder rasch verwesenden organischen Stoffen, deren Kohlenstoff zu einem sehr grossen Teil, und deren Stickstoff auch zum Teil aus der Atmosphäre entnommen ist; sie hinterlässt endlich eine Anzahl von Aschenbestandteilen, die samt und sonders dem Boden entnommen sind.

*) Was in praktischer Hinsicht namentlich in Bezug auf die geschilderte Wirkung der Bewaldung der Gebirge hervorgehoben zu werden verdient und auch genugsam hervorgehoben wird, ist, dass die einmal durch irgend einen wirtschaftlichen Missgriff vorgenommene Entwaldung nicht wieder nach Belieben korrigiert werden kann, da, wie wir gesehen haben, das eigentümliche Verhältnis besteht, dass der Bestand dieser Vegetation notwendig ist zur Herstellung der Bedingungen, die zu ihrer weiteren Ausbreitung unerlässlich erscheinen. Diese Andeutung mag hier genügen, um auf ein wirtschaftlich interessantes Problem hinzudeuten, das sich auf das beschriebene physische Verhalten gründet.

Die organischen Stoffe, an denen der Boden auf diese Weise bereichert wird, veranlassen einmal eine Änderung der *physikalischen Eigenschaften der Ackererde*. Die verwesenden Substanzen werden bald sehr dunkel gefärbt und ändern so die Farbe der oberen Bodenschicht, sie sind von grosser Lockerheit, und diese Eigenschaftsänderungen sind, wie wir bald einsehen werden, von grosser Bedeutung für das Pflanzenwachstum unter den gewöhnlichen Umständen.

Die organischen Stoffe entwickeln ferner bei ihrer Zersetzung ansehnliche Mengen von *Kohlensäure*. Diese ist, wie wir wissen, durch die Wurzeln zugeführt, kein eigentlich regelmässiges Nahrungsmittel der grünen Pflanzen; sie ist aber, wie wir erst kürzlich gesehen haben, ein sehr wichtiges Agens zur weiteren Aufschliessung des Bodens. Es muss dabei besonders betont werden, dass die Luft und das Wasser einer mit verwesenden organischen Resten erfüllten Ackererde namentlich im Sommer ganz unvergleichlich viel reicher an Kohlensäure ist, als die atmosphärische Luft und die Meteorwässer*), und dass daher alle die Verwitterungsprozesse, die in der noch unverwitterte Gesteinselemente enthaltenden Bodenschicht verlaufen können und welche auf die Wirksamkeit von mit Kohlensäure geschwängertem Wasser zurückgeführt werden müssen, durch die Anwesenheit jener verwesenden Substanzen ganz ausserordentlich gefördert werden. Die Verwitterung derartiger Gesteinselemente ist aber in vielen Fällen gleichbedeutend mit der Überführung wichtiger Pflanzennährstoffe, wie Kali, Phosphorsäure, in Lösung oder in leichter zugängliche Formen**).

Als Verwesungsprodukt von allerhöchster Wichtigkeit bleibt noch das aus der stickstoffhaltigen organischen Substanz, wiewohl in kleinerem Maassstabe, sich bildende *Ammoniak* oder, wenn die Verhältnisse im Boden Oxydationserscheinungen günstig sind, die *Salpetersäure* zu besprechen übrig. Beide Stoffe sind in ihren salzartigen Verbindungen wichtige und in der Natur sparsam verbreitete Pflanzennährstoffe. Wir haben schon in einer früheren Vorlesung***) gesehen und auch sonst wiederholt Andeutungen für diesen Sachverhalt gegeben, dass, wenn eines unserer gewöhnlichen höheren Gewächse auf einem ausgeglühten Boden auch bei Begiessen mit Regenwasser nicht üppig gedeiht, dies vor allem dem Umstande zuzuschreiben ist, dass es dort an stickstoffhaltiger Nahrung ganz und gar gebricht; denn es gelingt, Pflanzen in solchen Böden mit Üppigkeit fortzubringen, wenn man die letzteren mit einer geringen Menge Ammoniaksalz oder Salpeter versetzt, und ganz dasselbe geht auch aus den Resultaten unserer Wasserkulturen hervor. Ein noch völlig

*) Vergl. Boussingault: *Agronomie etc.*, II, 1861, p. 78, und vor allem Ebermayer: *Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphys.*, 1890, p. 19. 1% Vol. Co₂ ist dabei sehr häufig und in sehr humusreichen Böden noch viel mehr.

**) Auch noch andere Verwesungsprodukte als die Kohlensäure und etwa die gleich zu besprechenden salpetersauren Verbindungen nehmen an der Beförderung des Verwitterungsprozesses im Boden teil. Senft (vergl. *Landw. Jahresber. f. 1867/68*, p. 9) hat die Zersetzung von Oligoklas und anderen Silikaten unter der Einwirkung von humussaurem Kali beobachtet und damit die Aufschliessung von Gesteinsschutt von Granit und Basalt durch Jauche, wie sie in Thüringen zur Düngererzeugung üblich ist, in Beziehung gebracht.

***) Siehe I, die 13. Vorlesung, p. 193.

vegetationsleerer und auch von tierischen Resten freier Boden verhält sich aber in Bezug auf seinen Stickstoffgehalt einem frisch ausgeglühten Boden durchaus ähnlich. In ihm konnte sich, da die Mineralien, denen der noch unorganische Boden sein Dasein verdankt, nur verschwindende Spuren von Ammoniak zu enthalten pflegen, nur aus dem Regenwasser und den anderen Niederschlägen eine sehr geringe Menge gebundenen Stickstoffs ansammeln.

Als Pflanzen, welche diese Leistung der Stickstoffansammlung nicht bloss aus den geringen Mengen von Verbindungen dieses Elementes im Regenwasser, sondern auch auf Kosten des freien Stickstoffs der Luft in besonders hohem Grade zu bewirken vermögen, haben wir früher die meisten Spezies aus der Familie der Leguminosen kennen gelernt*).

Auf diese Weise werden dann die Vorteile einer verwesenden Pflanzenmasse für die Fruchtbarkeit einer Ackerkrume aus einem weiteren Gesichtspunkte begreiflich. Die Pflanze hat während ihres ganzen Lebens allen gebundenen Stickstoff, den sie mit den Wurzeln aus den stets von neuem durch die Ackererde rieselnden meteorischen Wässern schöpfen konnte, und einen kleinen Teil desjenigen, der ihren oberirdischen Organen zugänglich war, ferner unter bestimmten früher erörterten Umständen freien assimiliert und in Form von organischen Substanzen in sich aufgespeichert. Diese ganze Menge gelangt nun, wenn die Pflanze dem Tode verfällt, für die nachkommende Generation durch Verwesung nach und nach zur Verfügung, und so wird eine dem unorganischen Boden völlig fremde Stickstoffquelle durch diesen Vorgang eröffnet, und man begreift leicht die Bedeutung, welche diese Verhältnisse unter den geschilderten Umständen für das üppige Gedeihen der nun auftretenden Gewächse haben müssen.

Es ist wohl am Platze, dieses Verhalten durch eine vergleichende Analyse des Ober- und Untergrundes eines Bodens zu illustrieren. Auf der Versuchsstation zu Wageningen wurden unfruchtbare diluviale Heidesandböden analysiert. Einer davon zeigte folgende Verhältnisse:

	Obergrund.	Mittelgrund.	Untergrund.	
P ₂ O ₅	0,023	0,019	0,009	} löslich in Salzsäure.
CaO	0,03	Spur	Spur	
MgO	0,01	0,02	0,004	
K ₂ O , ...	0,01	0,01	0	
SO ₃	Spur	0	0,004	
Glühverlust . . .	13,6	Spur	Spur	
N (leicht zersetzbar**) 0,023		0,007	0,007	

Man sieht, verbrennliche Substanz und Stickstoff hatten sich in der humosen Schicht, welche von Heidepflanzen erzeugt war, angesammelt, daneben auch unverbrennliche Pflanzennährstoffe bis auf einen gewissen Grad konzentriert.

*) Vergl. I, die 13. u. 14. Vorlesung.

**) Durch Kochen mit verdünntem Alkali mit ZnFe-Staub, um den N der etwa vorhandenen HNO₃ zu gewinnen.

Auf die geltend gemachten Gesichtspunkte lässt sich beinahe die ganze Bedeutung des *Humus* — dies ist die altherkömmliche Bezeichnung für die in der Ackererde enthaltenen verwesenden, oder besser halbverwesten, organischen Stoffe — für die Fruchtbarkeit der Ackererde zurückführen; nur sind für dessen vollkommene Würdigung noch die im vorhergehenden erst angedeuteten physikalischen Eigenschaften humoser Böden näher in Betracht zu ziehen. Thut man dies, so sieht man, dass diese Bedeutung von seiten der Praxis nicht überschätzt, sondern nur teilweise falsch interpretiert worden ist, indem man glaubte, den organischen Substanzen des Humus selbst direkt nährnde Wirkungen zuschreiben zu müssen. Die Theorie, welche die Unrichtigkeit der so sich ergebenden Ernährungslehre erkannt hatte, aber noch nicht so weit vorgerückt war, um die eben erläuterte sekundäre Wichtigkeit des sog. Humus in seiner vollen Tragweite zu begreifen, war seiner Zeit geneigt, diesen verwesenden organischen Substanzen ihre ganze Bedeutung abzusprechen*); und hierin haben wir das beim Beginn der theoretischen Bearbeitung irgend eines praktischen Industriezweiges sich fast regelmässig wiederholende Schauspiel vor Augen, dass die Theorie, gestützt auf richtige Grundsätze, aber erst in Besitz einer ungenügenden Anzahl von den Faktoren, die bei jenem in Betracht kommen, sehr thörichte Maassregeln empfiehlt, während die Praxis ihre auf rein empirischem Wege gefundenen, aber sehr zweckmässigen Handlungsmaximen durch eine allen wissenschaftlich feststehenden Grundsätzen widersprechende Theorie zu stützen sucht. Hierdurch wäre z. B. das Verhältnis von Liebig zu Thaer in der Humusfrage treffend charakterisiert.

Durch Einverleibung humoser Stoffe können, wie wir gesehen haben, die Eigenschaften der Ackererde dem Pflanzenwachstum gegenüber in sehr mannigfaltiger und tief eingreifender Weise geändert werden. Es ist darnach leicht verständlich, dass der Gehalt an solchen Stoffen als Klassifizierungsprinzip für die Böden ebenso wie deren rein mineralische Grundlage benutzt worden ist. Ein jeder der vorhin**) aufgezählten Böden kann in der That durch Aufnahme von genügend grossen Mengen verwesender organischer Substanz zum *Humusboden* oder, wenn eine solche Ansammlung unter ganz eigentümlichen Verwesungsbedingungen, wie sie in Böden mit stagnierendem Wasser gefunden werden, und unter Erzeugung von einer Übermasse von Verwesungsprodukten geschieht, zum *Moorboden* werden — Bezeichnungen, von welchen wir eben aus diesem Grunde bei jener Einteilung noch keinen Gebrauch gemacht haben.

*) Auch später noch ging Knop wieder etwas zu weit in dieser Richtung vor, indem er die Humussubstanzen lediglich als Symptom der Fruchtbarkeit, nicht aber als einen „Urfaktor“ derselben aufgefasst haben wollte (Landw. Versuchsst., XV, p. 20), was nur unter ganz bestimmten Verhältnissen richtig ist.

**) Pag. 51.

Fünfte Vorlesung.

Die Entstehung der Ackererde. — Entstehung und Bedeutung des Humus. — Konzentration von Aschenbestandteilen.

Man könnte sich vielleicht an dieser Stelle mit der am Schlusse der letzten Vorlesung gegebenen Schilderung von der Bedeutung der humosen Stoffe begnügen, da in derselben das Wesentliche gegeben ist, worauf die früher so umfangreiche Humustheorie nach der Anwendung strengerer wissenschaftlichen Methoden zusammengeschrunpft ist. Allein man hat sich einmal gewöhnt, den sogenannten Humusstoffen eine eingehendere Beachtung zu widmen, dabei ist viel Interessantes und Nützliches, wenn auch mehr Nebensächliches zu Tage gekommen, und so werden auch wir den Resultaten der umfassenden Untersuchungen über diese Substanzen und deren Zusammensetzung einige Aufmerksamkeit schenken müssen.

Der *Humus* ist keine bestimmte chemische Substanz von unabänderlicher Zusammensetzung, auch nicht ein Gemisch solcher Substanzen, sondern man bezeichnet mit diesem Namen, wie wir schon hervorgehoben haben, ein Gemisch von chemisch noch unzulänglich definierten Verwesungsprodukten, die unausgesetzt, wenn auch mit verminderter Geschwindigkeit, eine weitere Veränderung durch die Verwesung erleiden und schon deshalb keine bestimmte Zusammensetzung und auch keine ganz bestimmten chemischen und physikalischen Eigenschaften zeigen können. Zusammensetzung und Eigenschaften dieser Stoffe sind vielmehr einigermaassen abhängig von dem Stadium des Verwesungsprozesses und sodann von der Richtung dieses Verwesungsprozesses, von dessen verschiedenem Charakter unter verschiedenen äusseren Verhältnissen.

Gewisse, namentlich physikalische Eigenschaften haben freilich alle sogenannten Humusstoffe, in welchem Stadium sich die Verwesung auch befinden mag und welche Verwesungsbedingungen auch vorhanden sind, miteinander gemein. Es sind dies die auffallende dunkle Färbung fast aller dieser Substanzen — sie mögen nun in ihrer Zusammensetzung der Holzfaser noch nahestehen oder bereits die Zusammensetzung des Torfes und der Braunkohle angenommen haben, sie mögen durch Verwesung von Pflanzensubstanz unter Wasser oder bei Luftzutritt, welcher freilich die entstehende Menge von Humusstoffen sehr beschränkt, Entstehung genommen haben —, welche einer Ackererde so wichtige Eigenschaften den Sonnenstrahlen gegenüber*) verleiht, ferner deren Kondensationsvermögen für Wasser, deren grosse Wasserkapazität.

Aber auch einige chemischen Eigenschaften der Humussubstanzen so verschiedenen Ursprungs und so verschiedenen Verwesungsstadiums bleiben sich ziemlich gleich, z. B. die Fähigkeit, unter günstigen Umständen eine noch weitere Verwesung

*) Vergl. die 8. Vorlesung.

zu erleiden und so Kohlensäure zu entwickeln, ferner die Fähigkeit Basen zu binden und zum Teil im ungelösten Zustande festzuhalten.

Was den Einfluss des Verwesungsstadiums auf die Eigenschaften der Humusstoffe betrifft, so kann einfach gesagt werden, dass je frischer der Humus, je unmittelbarer er aus den verweslichen organischen Substanzen hervorgegangen ist, dass um so reicher dessen Zersetzungsprodukte, Kohlensäure und Salpetersäure, fliessen werden. Diese Behauptung bedarf keines weiteren Beleges; es ist leicht verständlich, dass die leicht zersetzbarsten Substanzen zuerst zerfallen und dann immer mehr Stoffe einer stabileren Konstitution übrig bleiben oder resultieren und so nach und nach die Oberhand gewinnen. Eine Unterscheidung zwischen „frischem“ und „altem“ Humus wird deshalb zweckentsprechend sein, um dieses verschiedene chemische Verhalten auszudrücken.

Eine Verschiedenheit des Verlaufs des Verwesungsprozesses unter verschiedenen äusseren Umständen ist insofern leicht festzustellen, als vegetabilische Massen, bei hoher Temperatur an der Luft sich zersetzend, sich sehr viel rascher und vollständiger, wesentlich unter vollständiger Oxydation zu Wasser und Kohlensäure, zersetzen und so wenig humusartige Reste zurücklassen, als ferner bei hoher Temperatur unter Wasser die Sumpfgasgärung, welche selbst die Cellulose nicht verschont, in den Vordergrund tritt, und so die Torfbildung, d. i. ja die Humusbildung im grossen, nur da eine grosse Ausdehnung gewinnt, wo vegetabilische Massen *unter Wasser* oder sonst bei gehindertem Luftzutritt und *bei niedriger Temperatur* der Zersetzung überlassen werden *). Wo diese Bedingungen erfüllt sind, da entstehen unter Einfluss bestimmter, an diese Bedingungen gewohnter Pflanzen Böden, die so reich sind an Humusstoffen, dass sie mit einem eigenen Namen, dem von *Moorböden*, bezeichnet werden.

Soweit es indessen zur Humusbildung kommt, so ist das Endresultat in diesen verschiedenen Fällen nicht allzu verschieden. Kohlenstoffverlust auf Kosten des spärlich zutretenden Sauerstoffs und Wasserverlust haben in allen Fällen gleichzeitig statt. Allein der Wasseraustritt ist etwas bedeutender als der Kohlenstoffverlust durch Oxydation,

*) Boussingault hat wertvolle Beobachtungen mitgeteilt über den Einfluss der Temperatur auf die Verwesung, über den verschiedenen Verlauf dieses Prozesses in verschiedenen warmen Klimaten. Die Zersetzung organischer Überreste soll nach diesem Forscher unter den Tropen ganz anders verlaufen und z. B. Torf in diesen heissen Zonen eine ganz unbekannte Bildung sein. Dasselbst soll der Zerfall organischer Stoffe unter Wasser vor sich gehen unter Bildung von Kohlensäure und Sumpfgas. Erhebt man sich aber in derselben Zone einige tausend Fuss über den Meeresspiegel, z. B. auf das Plateau der Anden, wo eine mittlere Temperatur herrscht von 8–10° C., da beginnt auch wieder die Torfbildung. Trotzdem sind, wie ich aus eigener Erfahrung (d. h. aus der Analyse vieler Erden aus Sumatra) weiss, die Walderden auch in den Tropen häufig beinahe ganz ausschliesslich aus Humusstoffen zusammengesetzt. Wir brauchen übrigens nicht so weit zu gehen, um ganz ähnliche Beobachtungen zu machen. Versuche von Peters, wobei Erde künstlich erwärmt ward, haben übereinstimmende Ergebnisse gehabt. Vergl. Jahresbericht für Agrikulturchemie, 1862/63, p. 9. Auch in der Forstwirtschaft die gleiche Erfahrung. Ebermayer: Landw. Versuchszt., Bd. 18, p. 64. Im Zusammenhange damit steht auch wohl die Thatsache, dass die Steinkohlenflöze in den Tropen so schwach vertreten sind und in grösserer Ausdehnung nur zwischen dem 30. bis 76. Breitengrade auftreten.

und so resultieren relativ kohlenstoffreichere Substanzen etwa von der Zusammensetzung eines teilweise entwässerten Kohlenhydrats. Analysen*) lehren z. B. folgendes:

Eichenholz (frisch)		Eichenholz (an der Luft verfault)	
		I. hellbraun.	II. dunkelbraun.
C	50,2 %	53,6 %	56,2 %
H	6,1 "	5,2 "	4,9 "
N	43,8—44,0 "	41,2 "	38,9 "
O			
Torf			
braun mit deutl. Pflanzenresten.		7 Fuss unter der Oberfläche.	14 Fuss tief, völlig schwarz.
C	57,8 %	62,0 %	64,1 %
H	5,4 "	5,2 "	5,0 "
N	0,8 "	2,1 "	4,1 "
O	36,0 "	30,7 "	26,8 "

Die Analysen zeigen also bei dem Humifizierungsprozess eine fortwährende Zunahme an Kohlenstoff (nebenbei auch an Stickstoff); und die Torfe verschiedenen Alters können dabei mit frischem und mehr oder minder zersetztem Holze in eine Linie gestellt werden, weil ja die Torfbildung grossenteils auf Kosten von holzigen Stengelteilen geschieht**). Als Zwischen- und Endprodukte eines analogen Prozesses können die Braunkohle, die Steinkohle und endlich der Anthracit betrachtet werden, obwohl diese Fossilien nicht genau denselben Ausgangspunkt haben.

Unterschiede in Bezug auf die Verwesungsbedingungen gewähren natürlich die verschiedenen Bodenarten mit ihren spezifischen physikalischen Eigentümlichkeiten, durch welche sie der atmosphärischen Luft mehr oder weniger Zutritt gestatten, und darum sehen wir in einem Boden die organischen Überreste und Düngestoffe rasch verschwinden, in einem andern dieselben sich lange konservieren. Eisenoxydhaltige und kalkhaltige Böden oder Bodenarten poröser Natur, welche das erstere Verhalten zeigen, werden auch wohl als „zehrende“ oder „hungrige“ bezeichnet.

Der Unterschied, welchen hinsichtlich des Verlaufs des Verwesungsprozesses mit Wasser überladene und andererseits trockene gut durchlüftete Böden zeigen, spielt

*) Handwörterbuch der Chemie, 1848, III, p. 927. Die vergleichenden Torfanalysen rühren von Detmer her.

**) Die eigentliche Frage, aus welchen chemischen Körpern die schwarzen Humuskörper sich bilden, scheint niemals gut in Angriff genommen zu sein. Aber die Schwierigkeiten, namentlich in der grossen Zeitdauer der Versuche begründet, sind auch ungewöhnliche. Ich selbst habe alle möglichen organischen Stoffe, auch die verschiedensten Kohlenhydrate und Proteinstoffe in geschlossenen Flaschen mit reinem Sand und Wasser vermischt jahrelang der Zersetzung überlassen und nur aus der Gerbsäure unzweifelhafte Humuskörper erhalten, während doch die Erfahrung der Torfbildung zu lehren scheint, dass zum mindesten auch die Cellulose sich daran beteiligt. Über die Beteiligung von niedrigen Organismen bei der Humusbildung vergl. Kostytscheff: Annal. agronomiques, 17, p. 17. Nach demselben können *Pilze* beispielsweise insofern eine Bedeutung haben, als sie im stande sind, durch Verbrauch von organischen Säuren die saure Reaktion zu entfernen, und dann die Schwärzung (durch Oxydation) sehr beschleunigt wird.

in der Praxis eine sehr hervorragende Rolle. Bei der Zersetzung unter Wasser oder sonst bei ungenügendem Luftzutritt bilden sich Substanzen, deren Gemeuge der Praktiker mit dem Namen *saurer Humus* belegt und die aufs Gedeihen aller unserer einheimischen Kulturgewächse einen nachteiligen Einfluss ausüben. Vermutlich handelt sich's dabei einfach um Humussäuren, die im Übermaasse anwesend sind; zuweilen werden auch durch diese andere Säuren und selbst Schwefelsäure frei gemacht. Bei der Verwesung derselben Pflanzenüberreste in einer durchlüfteten Ackererde ist nichts dergleichen zu bemerken, und der unter diesen Umständen sich bildende Humus wird auch wohl als *milder Humus* bezeichnet. Saurer Humus pflegt nach dem Trockenlegen oder sonst bei Luftzutritt bald seine schädlichen Eigenschaften und diese desto rascher zu verlieren, je mehr die Wirkung durch anwesenden Kalk oder Alkalien unterstützt wird, offenbar weil gerade die eigentlichen Humussäuren am ersten durch Oxydation vernichtet werden.

Aus dieser ganzen Darstellung ist ersichtlich, dass der Humus nicht ein fester Bestandteil ist des Ackerbodens, sondern der Menge und Qualität nach veränderlich, so dass sein Eingreifen in die Pflanzenernährung mehr einer physiologischen wie einer bloss chemischen und physikalischen Wirkung ähnlich sieht*).

Man hat nun durch mühsame Untersuchungen dahin gestrebt, die unter verschiedenen Umständen bei der Verwesung organischer Überreste entstehenden Substanzen näher chemisch zu definieren; allein man kann wohl, ohne gegen die dahin gerichteten Bestrebungen unbillig zu sein, aussprechen, dass trotz des grossen, durch derartige Untersuchungen angehäuften**) Materials sehr wenig wirkliche Kenntniss in Bezug auf die chemische Natur der Humusstoffe, noch auch praktisch wichtige Gesichtspunkte dadurch erlangt worden sind. Man hat zwar eine grosse Anzahl von Stoffen, welche alle als Humussubstanzen im weitesten Sinne bezeichnet werden können, aus der mit verwesenden Stoffen durchsetzten Ackererde dargestellt, ausserdem dieselben z. T. aus genau gekannten organischen Körpern zu bilden versucht, alsdann deren Zusammensetzung ermittelt und ihre Eigenschaften festgestellt. Doch wir sind durch alle diese Untersuchungen im Unsicheren geblieben darüber, ob wir's in diesen Substanzen mit einigermaassen chemisch reinen Stoffen zu thun haben; denn ihre scharfe Trennung ist, da sie weder selbst noch ihre bekannten Verbindungen krystallisieren und ebensowenig destilliert werden können und so von vornherein die beiden Methoden abgeschnitten sind, durch welche wir hauptsächlich die Reindarstellung von Substanzen unternehmen, augenscheinlich nicht geglückt. Dies zeigen die sehr bedeutenden Abweichungen in den Analysen der gleichbenannten, verschiedenen Darstellungen entstammenden Stoffe.

Ebensowenig haben uns die vorhandenen Untersuchungen etwas Positives gelehrt über die Funktionen der einzelnen Stoffe in der Ackererde oder gar über deren Bedeutung als Pflanzennährmittel. In Bezug auf den letzteren Punkt haben wir am

*) Daher wohl der Ausspruch, der Humus sei nichts Totes. Vergl. Arndt: Die Gründung, p. 59.

**) Ich verweise auf die umfassende Zusammenstellung desselben bei Mulder: Chemie der Ackerkrume (Berlin 1863, I, p. 308—360), deren Resultate allerdings durch neuere Untersuchungen sehr wesentlich modifiziert worden sind.

geeigneten Orte*) einige Bemerkungen gemacht, aus denen hervorging, dass zwar theoretisch der Assimilation von organischen Substanzen, auch bei den grünen Gewächsen, nichts im Wege steht, dass aber eine sehr erhebliche Aufnahme dieser Stoffe, welche der Pflanze zu grossem Nutzen gereichte und für die landwirtschaftliche Praxis von Bedeutung wäre, nicht mit Sicherheit nachgewiesen, im Gegenteil höchst unwahrscheinlich ist. Das, was damals gesagt wurde, können wir hier speziell für die einzelnen Humussubstanzen wiederholen. Wenn man auch hin und wieder die von gelösten Humusstoffen herrührende braune Färbung einer Nährstofflösung, in welcher man Pflanzen wachsen liess, sich vermindern sah und selbst die Aufnahme einzelner dieser organischen Stoffe mit der Wage in der Hand konstatierte**), und es vielleicht selbst in hohem Grade wahrscheinlich gemacht hat, dass ein Teil der aufgenommenen Stoffe wirklich von der Pflanze verarbeitet worden ist, so scheint doch — und man könnte dies schon aus der Mühe schliessen, die dieser Nachweis gekostet hat — den Humusstoffen eine so geringe osmotische Fähigkeit***) der Wurzelmembran unserer höheren Pflanzen gegenüber zuzukommen, dass von einer hervorragenden praktischen Bedeutung jener Stoffe als Nährstoffe zumal für die Kulturgewächse wohl nicht die Rede sein kann†).

*) I. Teil, 5. Vorlesung.

**) Vergl. über diesen Gegenstand besonders Mulder a. a. O., B. II, p. 96—116, und Zusammenstellungen der Litteratur bei Johnson: „Wie die Feldfrüchte sich nähren“, 1872, p. 261 f.

***) Vergl. die Resultate de Saussure's über diesen Gegenstand. Knop: Kreislauf des Stoffs, II, p. 200. Ausgenommen ist jedoch hiervon, wie es scheint, die Quellsatzsäure (vergl. Detmer: Landw. Versuchszt., XV, p. 284), und auch Petermann hat eine entschieden osmotische Befähigung einer organischen Substanz im Boden nachgewiesen, die freilich nicht den Humusstoffen im engeren Sinne angehört (vergl. dessen *Recherches sur la dialyse etc.*, Bruxelles 1882).

†) Mulder unterschied folgende Humusstoffe: die schon von Berzelius aus Ockerabsatz isolierte *Quellsäure* (*Krensäure*) und die *Quellsatzsäure* (*Apokrensäure*), ferner *Uminsäure*, *Huminsäure*, *Umin* und *Humin*, welchen folgende Eigenschaften zukommen sollen. — Die als Säuren bezeichneten Stoffe sind samt und sonders in Flüssigkeiten, welche Alkalien aufgelöst enthalten, löslich, und man schreibt ihnen deshalb die Fähigkeit zu, sich mit denselben zu verbinden. Humin und Umin sind in Wasser wie in alkalischen Flüssigkeiten unlöslich. Quellsäure und Quellsatzsäure sind schon in reinem Wasser löslich. — Die *Quellsäure*, welche noch nicht künstlich dargestellt werden konnte, ist nicht braun gefärbt, sondern farblos, ebenso die Salze derselben, die Verbindungen mit Alkalien und Erden. An der Luft geht die feuchte Säure rasch durch Oxydation in die braungefärbte *Quellsatzsäure* über; diese soll wieder durch Wasserstoff im Entstehungsmomente in die sauerstoffärmere Quellsäure übergehen. Dieselbe Reduktion und Oxydation soll abwechselungsweise in der Ackererde vor sich gehen, je nachdem die Bedingungen in derselben dem einen oder dem andern Prozesse günstiger sind. Die eigentlichen, samt und sonders dunkel gefärbten *Humin-* und *Uminstoffe* gehen durch Oxydation mit Salpetersäure in Quellsatzsäure (resp. quellsatzsaures Ammoniak) über. — Hoppe-Seyler unterscheidet 1) *Humin* und 2) *Huminsäure*, eine dritte Gruppe, die sich wie die letztere verhält, aber in Alkohol löslich ist. *Humin* kann durch Schmelzen mit Kali in 2 und 3 übergeführt werden (Zeitschr. f. physiol. Chemie, 13, p. 66, daselbst auch interessante Folgerungen).

Ulmensäure und *Huminsäure* unterscheiden sich äusserlich wesentlich nur durch die Farbe, die erstere ist braun, die letztere mehr schwarz gefärbt. In alkalischen Erden sind dieselben unlöslich, sie werden vielmehr durch dieselben wie durch alle Erdsalze gefällt, und ihre Alkalisalze verhalten sich also in dieser Hinsicht den Seifen und den Silikaten analog. Daher rührt es, dass die meisten, namentlich die kalkhaltigen Ackererden, mit destilliertem Wasser behandelt, anfangs keine braun-gefärbte Lösung geben, sondern dies erst thun, wenn die Erdsalze einigermaassen durch Auslaugen entfernt sind, wenn das Auslaugungswasser seine „Härte“ verloren hat. Daher rührt es weiter, dass die alkalireichen Wässer, welche von kalkarmen Gebirgsarten abziehen, leicht braun gefärbt sind, ebenso die stagnierenden Moowässer kalkarmer Gegenden, während die harten Quellwässer nahezu farblos erscheinen, weil sie eben nicht im stande sind, aus den Bodenschichten, die sie durchsickern, die braungefärbten Verwesungsprodukte, Huminsäure und Ulminsäure, in sich aufzunehmen. Bemerkenswert ist auch die Löslichkeit dieser Stoffe in Flüssigkeiten, die phosphorsaures Ammoniak und andere phosphorsaure Alkalisalze enthalten.

Als *Ulm*in und *Hum*in werden schliesslich die auch in Alkalien unlöslichen dunkelgefärbten Verwesungsprodukte bezeichnet. Die braunen werden — ganz analog der Bezeichnung der durch Alkalien ausziehbaren Substanzen — *Ulm*in, die schwarzen *Hum*in genannt. Beide sind aber wenigstens teilweise in *heissen* alkalischen Flüssigkeiten löslich, wobei sie in die betreffenden Säuren überzugehen scheinen. Aber selbst eine Ackererde, die successive mit destilliertem Wasser, kalter und heisser Alkalilauge behandelt und erschöpft worden ist, enthält noch geringere oder grössere Reste von dunkelgefärbten Substanzen.

Wichtig für eine Theorie der Kalkdüngung auf humusreichen, namentlich sauren Humus enthaltenden Bodenarten ist noch die bei dergleichen Versuchen gemachte Erfahrung, dass die *humussaueren Salze*, wie man alle jene Verbindungen als Kollektivbegriff bezeichnet, im feuchten Zustande sich weit leichter oxydieren als die Humusstoffe für sich*).

Was nun die Zusammensetzung dieser verschiedenen Stoffe betrifft, so habe ich es absichtlich vermieden, Formeln hierher zu setzen. Der Grund dafür liegt einfach in dem Vorhingesagten. Es ist keine Bürgschaft dafür vorhanden, dass man es mit wirklich reinen Stoffen zu thun hat. Die Abweichung der Resultate der vorhandenen Analysen von einander bestätigt diese Voraussetzung vollkommen. Einige dieser mögen als Beleg hierfür und, um eine Vorstellung von der ungefähren Zusammensetzung der Humuskörper zu geben, hier ihren Platz finden.

*) Diese Einwirkung der Basen auf die Oxydierbarkeit der Humusstoffe, die landwirtschaftlich von Bedeutung ist, harrt noch ihrer theoretischen Erklärung; allein ähnliche Thatsachen sind in der Chemie mehrere bekannt; so hat Chevreul beobachtet, dass mehrere gallussäurehaltige Farbstoffe in Auflösung beliebig lange Zeit unzersetzt aufbewahrt werden können, dass dagegen die Anwesenheit einer kleinen Menge Alkali genügt, um zur Sauerstoffabsorption Veranlassung zu geben, welche eine tiefe Bräunung zur Folge hat. Auch die Pyrogallussäure ist bekanntlich nur wirksam in alkalischen Gemischen. Auch FeO ist viel oxydabler im freien als in dem mit Säuren gesättigten Zustande.

	<i>Ulmin(säure).</i>		<i>Humín.</i>		<i>Huminsäure.</i>		
	Aus Zucker*).	Aus alter Chinarinde**).	Aus Zucker.	Aus Zucker.	Natürlich	†)	
C	63,4 ‰	59,4 ‰	63,4 ‰	64,4 ‰	56,3—59,0 ‰	59,7 ‰ ***)	58,2 ‰
H	4,8 „	6,1 „	4,3 „	4,3 „	4,4—4,9 „	4,5 „	5,0 „
N	0	3,5 „	0	0	2,8—3,6 „	0	0
O	31,8 „	31,0 „	32,3 „	31,3 „	32,7—36,0 „	35,8 „	36,8 „

Ein Blick auf die mitgeteilten Zahlen lehrt, wie wenig es noch gelungen ist, die einzelnen Stoffe in chemischer Reinheit darzustellen, und wie kühn es noch vor-derhand erscheinen muss, die gleichbenannten Stoffe von so abweichender Zusammensetzung miteinander zu identifizieren. Dagegen lässt sich folgendes zur allgemeinen Charakterisierung der Durchschnittszusammensetzung der Stoffe sagen: Die schwarzen *Huminkörper* sowohl als die braunen *Ulminkörper* ††) enthalten eine weit höhere Menge Kohlenstoff als die Kohlenhydrate oder auch als das Holz, aus welchen Stoffen sie der grossen Masse nach in der Natur als hervorgegangen betrachtet werden können (die Cellulose enthält 44,4 ‰ Kohlenstoff, die verschiedenen Hölzer durchschnittlich 50 ‰); allein sie enthalten Wasserstoff und Sauerstoff nahezu im Verhältnis, wie diese Wasser bilden, und können also betrachtet werden als stark entwässerte Kohlenhydrate. Hiermit in Zusammenhang steht die Möglichkeit der künstlichen Bereitung von Humuskörpern aus Kohlenhydraten, durch dieselben mit starken wasserentziehenden Säuren zu behandeln, und unter den aufgeführten Analysen finden sich auch solche, wobei der Stoff aus Zucker dargestellt worden war. Die schwärzliche Färbung der gewöhnlichen Schwefelsäure des Handels beruht auf dieser Reaktion, welche in diesem Falle durch zufällig hineingefallene Stroh- oder Holz-teilen veranlasst wird.

Von grösserem Gewicht ist für uns der Stickstoffgehalt aller *natürlichen* (nicht gereinigten) Humusstoffe †††), der festgestellt werden konnte, auf welchem Wege die Darstellung auch vorgenommen wurde und welchen Namen die so resultierenden Produkte auch immer empfangen haben mögen. Früher hat man diesen Stickstoffgehalt auf einen Ammoniakgehalt aller natürlichen Humussubstanzen geschoben und bezeichnete einen Teil derselben geradezu als Ammoniaksalze der betreffenden Säuren.

Indessen belehren uns schon Mulder's Angaben, dass dem unmöglich so sein kann. Es gelang demselben nicht einmal durch Kalilauge, allen Stickstoff seiner Substanzen in Form von Ammoniak auszutreiben. Eine von ihm dargestellte Humín-

*) Von Stein analysiert: Annal. d. Pharm., Bd. 30, p. 86. Hiermit in Übereinstimmung neuere Analysen von Conrad und Guthzeit: Ber. d. deutsch. chem. Gesellsch., 1885, p. 443.

**) Hesse, Annal. d. Pharm., Bd. 109, p. 342.

***) Von Detmer rein dargestellt. Derselbe schlägt die Formel $H_8C_{60}H_{46}O_{27}$ vor.

†) Dopplertanalyse der Versuchsstation Wageningen. Vergl. Landw. Versuchsst., Bd. 29, p. 313. Die übrigen Analysen sind dem citierten Mulder'schen Werke entnommen.

††) Von Detmer wird auf Grund von sehr detaillierten Arbeiten die Existenz einer besonderen Ulminsäure geleugnet. Vergl. Landw. Versuchsst., XIV, p. 267.

†††) Der Dopplerit macht hiervon eine Ausnahme; allein derselbe ist ja nichts anderes als ein auf natürliche Weise entstandener Niederschlag, der aus Huminsäure oder besser aus einem Gemenge von homologen Huminsäuren besteht.

säure enthielt z. B. 2,8 % Stickstoff; durch Digestion mit Kali konnte dieselbe bis auf 1,8 % Stickstoff*) heruntergebracht werden. Nun weiss aber jedermann, dass man mit Kali ein jedes Ammoniaksalz zersetzen kann, dass vielmehr Kali schon ein viel zu energisches Mittel ist, wenn man nicht auch stickstoffhaltige organische Substanzen gleichzeitig mitzerstören will. Soll nur das Ammoniak aus einem Gemische, das daneben stickstoffhaltige organische Substanzen unbekannter Zusammensetzung enthält, entfernt werden, so wählt man die nur schwach kaustische Magnesia, und selbst diese greift zuweilen manche stickstoffhaltigen organischen Substanzen noch an**).

Auch die praktische Erfahrung mit solchen humosen Erden belehrt uns, dass wir es unmöglich vorwiegend mit Ammoniakverbindungen in denselben zu thun haben können; denn solche Erden, selbst wenn sie ganze Prozente an Stickstoff einschliessen***), also so viel, wie vielleicht in Hunderten von Knochenmehldüngungen in die Erde gelangen würde, verhalten sich dem Pflanzenwuchs gegenüber durchaus nicht wie Böden, die viel disponiblen Stickstoff enthalten. Dieselben erzeugen kein Lagergetreide und veranlassen keines der untrüglichen Symptome eines grossen verfügbaren Stickstoffvorrats, erweisen sich vielmehr unter Umständen noch dankbar einer Stickstoffdüngung gegenüber.

Die humosen Stoffe enthalten vielmehr als solche Stickstoff in einer ausserordentlich schwer zugänglichen Form, vermutlich der des Stickstoffs der Braunkohlen und Steinkohlen ähnlich. Eine neuerdings in dieser Beziehung ausgesprochene Meinung ist auch die, dass manche Eiweisskörper der Pflanzen an Unzersetzbarkeit ungefähr dem thierischen Hornstoffe oder dem Nuclein†) gleichzusetzen seien, und dass dieselben noch durch die Beimengung von den Humussäuren, die ja mit den Gerbstoffen viele Ähnlichkeit haben, konserviert würden. Auch wäre gelegentlich wohl geradezu an beigemischtes tierisches Chitin zu denken. In jedem Falle stossen wir hier in Bezug auf den Stickstoff des Bodens auf eine ganz ähnliche Thatsache, wie wir sie auch für die Pflanzennährstoffe Kali und Phosphorsäure zu konstatieren haben. Wir müssen in dem Boden neben verfügbarem Stickstoff, neben gelösten oder leicht in Lösung überzuführenden Ammoniak- und salpetersauren Verbindungen, zur Zeit un verfügbaren Stickstoff unterscheiden, der ein Bestandteil ist von sehr wenig veränderlichen organischen Substanzen, welche bei den Veränderungen, die sie erleiden,

*) Vergl. Mulder: a. a. O., I, p. 327, ebenso die Bemerkungen Detmer's: Landw. Versuchszt., XIV, p. 255.

**) Vergl. Brücke: Chem. Centralbl., 1868, p. 376.

***) Aus Grouven'schen Bodenanalysen geht hervor, dass der natürliche Humus des Bodens durchschnittlich etwa 3,6% Stickstoff enthält, und dass die Felder sich ganz unabhängig von diesem ihrem Stickstoffreichtum für Stickstoffdüngungen dankbar erweisen (vergl. Dritter Ber. von Salzmünde, 1868, p. 390 f.). Vergl. über denselben Gegenstand A. Müller: Jahresber. f. Agrik.-Chemie, 1866, p. 35 und die Bemerkungen auf p. 36; ferner Boussingault: Agronomie etc., 1860, I, p. 290, und W. Wolf: Landw. Jahrb., II, p. 389.

†) Worauf der Phosphorgehalt derartiger Körper weist. Vergl. Schmöger: Chem. Ber., 93, p. 386. Eine eingehende Studie dieses Gegenstandes bei Kostytscheff: Annal. agronomiques, 17, p. 17.

nur sehr schwer ihren Stickstoff in Form eines zugänglichen Nährstoffes abzuspalten vermögen*).

Diese eigentümliche Erscheinung, welcher erst neuerdings die verdiente Beachtung zu teil geworden ist, hat eine ganz bedeutende praktische Wichtigkeit, auf welche wir später in dem Abschnitt über Düngung wieder kurz zurückkommen werden. Gelingt es durch im grossen ausführbare Manipulationen, den Stickstoff der Humussubstanzen der Pflanzenernährung zugänglich zu machen, so stehen ganz ungeheure Mengen dieses teuersten aller Düngemittel nicht bloss in den Ackererden selbst, sondern auch in unseren grossen Torflagern für die Pflanzenkultur zu Gebote**).

Auch der Nutzen, den die Anwesenheit von humosen Stoffen für die Fruchtbarkeit der Ackererde augenscheinlich besitzt, steht z. T. im Zusammenhang mit diesem Stickstoffgehalte, der, obschon im Augenblicke nur zum geringsten Teile für die Pflanzenwelt verfügbar, doch in dem Maasse verfügbar wird, als die humosen Stoffe selber einer weiteren Zersetzung unterliegen. Diese Zersetzung tritt ein namentlich bei höherer Temperatur und durch Begünstigung der Oxydation, wozu nicht allein Trockenlegen, aber auch häufig Beimischung von alkalischen Stoffen, als Kalk, Asche, sich als zweckdienlich erwiesen haben. Hierbei wird ein bis dahin festgehaltener Teil des Stickstoffs in Ammoniak und Salpetersäure verwandelt und aus diesem Umstande namentlich bei der Rimpau'schen Moorkultur, aber auch bei

*) Über die schwierige Zugänglichkeit dieser Stickstoffverbindungen für zersetzende Einflüsse geben ausser den landwirtschaftlichen Erfahrungen über die Indifferenz dieser Stoffe die vergleichenden Analysen humoser Stoffe und der Pflanzensubstanz, aus der sie hervorgegangen sind, reichhaltigen Aufschluss. Ich habe die Wurzelreste und die noch lebenden Teile einer Grasnarbe von moorigen Wiesen und den humosen Boden derselben einer vergleichenden Stickstoffbestimmung unterworfen und bezogen auf 100 Teile organische Substanz in den Pflanzenresten 1,3%, in dem Humus 4,7% Stickstoff vorgefunden, und dasselbe Resultat ergibt sich durch Vergleichung der vorhin angeführten von Grouven ermittelten Zahlen und den früher mitgeteilten Stickstoffgehalten einzelner Pflanzenteile; sogar de Saussure hatte schon ähnliche Beobachtungen gemacht. Im Durchschnitt verwesen — ganz entgegengesetzt den Erfahrungen, die man an tierischen Stoffen gemacht hat — die stickstoffhaltigen Pflanzenteile unter den Umständen, wie sie in der Ackererde herrschen, weit langsamer als die Bestandteile, die von diesem Grundstoff frei sind, denn nur auf diese Weise kann eine Anhäufung dieses letzteren in der Ackererde bewirkt werden; oder es entstehen bei der Verwesung pflanzlicher Proteinstoffe bald eigentümliche Verbindungen, die nun jeder weiteren Veränderung Trotz bieten. — Ganz ähnliche Erfahrungen über Stickstoffanreicherung humoser Erden, wenn man sie befeuchtet der Oxydation unterwarf, hat Boussingault gemacht (vergl. *Agronomie etc.*, I, 1860, p. 321 f.), die sich wenigstens teilweise auf denselben Gesichtspunkt zurückführen lassen.

**) Der Grouven'sche Prozess der Verbrennung stickstoffhaltiger Stoffe in überhitztem Wasserdampf, der als analytisches Hilfsmittel durch die Untersuchungen von Kreusler-Landold (vergl. *Landw. Versuchsst.*, Bd. 30, p. 245) ebenso wie durch eigene zu Wageningen unternommene Untersuchungen, die nicht veröffentlicht worden sind, sich als unzuverlässig erwiesen hat, hat vielleicht für die zukünftige Produktion von Ammoniaksalz auf Kosten von wertlosen Torfabfällen noch grosse Bedeutung. — Einstweilen ist das Unternehmen am Fehlen eines widerstandsfähigen Retortenmaterials gescheitert.

der neuerdings in Übung gekommenen Bewirtschaftung nicht abgebauten Hochmoores mit Seeschlick und stickstofffreien Hilfsdüngemitteln nach dem Vorgange der Bremer Versuchsstation Gebrauch gemacht.

Obschon bereits hieraus und aus anderen schon besprochenen oder noch geltend zu machenden Gesichtspunkten sich die Bedeutung des Humus ergibt und somit eine eigentliche spezifische Humustheorie, wie die ältere empirische Schule sie wollte, nicht mehr vonnöten erscheint, so hat es doch selbst auch in der neueren Zeit nicht an Versuchen gefehlt, den merkwürdigen Humussubstanzen wieder zu einer ganz besonderen Rolle bei der Pflanzenernährung zu verhelfen. Namentlich ist hier Grandeau's Erwähnung zu thun, der mit Hilfe von Ammoniak ein Gemisch von Humusstoffen zusammen mit mineralischen Nährstoffen aus der Ackererde extrahierte und dieses Gemisch als eine Art von Verbindung, welche zugleich als eine Quintessenz der Fruchtbarkeit gelten sollte, betrachtete. Nur wurde hierbei — und hierin liegt der Hauptunterschied gegenüber der alten Humustheorie — den Humusstoffen keine direkte Nährbefähigung, sondern nur die Rolle eines Vehikels zur Ernährung zugeschrieben. Sie wurden gleichsam als das chemische Schifflein betrachtet, in welchem die Nährstoffe bis zur Pflanzenwurzel gefahren werden, allwo dann Dissociation und Osmose eine Trennung der Bestandteile vornähme. Es hat sich aber, abgesehen von der Willkürlichkeit der Annahme eines steten Verbundenseins zwischen Pflanzennährstoffen und den schwarzen organischen Stoffen, herausgestellt, dass nicht in allen fruchtbaren Erden solche Stoffe in entsprechendem Maasse vorgefunden werden, und damit ist auch dieser Modus einer Humustheorie als definitiv beseitigt anzusehen*).

Neben den organischen Stoffen, welche durch eine absterbende Pflanzengeneration (und durch die abgeworfenen Organe der noch lebenden) dem Boden einverleibt werden, haben wir nun auch schliesslich die mineralischen Bestandteile dieser Vegetationsüberreste in ihrer Wirkung auf die Bodenfruchtbarkeit einer Betrachtung zu unterwerfen. Die abgestorbene Pflanzenmasse enthält, wie wir wissen, unter allen Umständen Aschenbestandteile und zwar grossenteils solche, die (nach einer sehr rasch sich vollziehenden chemischen Veränderung) wieder als mineralische Pflanzennährstoffe dienen können; sie enthält Kalium, Phosphor, Calcium, Schwefel u. s. w.

Man wird nun vielleicht sagen, alle diese Stoffe seien ja früher Bestandteile des Bodens gewesen, und durch die erfolgende Zurückgabe sei alles nur wieder auf dem ursprünglichen Zustande angekommen und in dem Gehalt des Bodens an Aschenbestandteilen nichts geändert; allein ich gebe zu bedenken, dass einmal die Wurzel allerlei mineralische Stoffe durch eigene Thätigkeit in Lösung gebracht und in die Pflanze übergeführt hat, und dass diese Stoffe nun nach der Verwesung der Pflanzen-

*) Vergl. Compt. rend., Bd. 74, p. 988, und später ausführlicher *Recherches expérimentales sur le rôle etc.*, 1878. Die eingehendste Widerlegung rührt von O. Pitsch her. Vergl. Landw. Versuchsst., 1880, Bd. 26, S. 1. Vergl. ferner W. Wolf: Landw. Jahrb., Bd. II, p. 392. — Andere Versuche, den Wert der Humusstoffe in ein noch helleres Licht zu setzen dadurch, dass man ihnen die Fähigkeit zuschrieb, Stickstoff aus der Luft in Ammoniak überzuführen (vergl. Simon: Fühlings landw. Zeitung, 1875, p. 442), sind durch Arbeiten der Versuchsstation zu Halle als widerlegt anzusehen.

masse in leichtlöslicher Form vorhanden sind, namentlich im Vergleich zu der Schwerangreifbarkeit vieler Stoffe, die noch in unzersetzten Mineralien eingeschlossen sind.

Neben dieser Folge des Pflanzenwuchses für die Beschaffenheit der Ackererde, die wir kurzweg wie eine schon früher besprochene als eine *Überführung mineralischer Nährstoffe in eine der Pflanze leichter zugängliche Form* bezeichnen können, ist noch eine andere Folge der gleichen Verhältnisse und zwar eine Folge von hoher Wichtigkeit zu besprechen übrig, die als *Konzentration der mineralischen Nahrung des Bodens* bezeichnet werden mag. Man muss sich daran erinnern, dass die Reste der Vegetation, soweit sie nicht Wurzelrückstände sind, obenauf zu liegen kommen, während die Aschenbestandteile allen möglichen Orten des Bodens, bis wohin die Wurzelspitzen vorgedrungen sind, entnommen wurden. Eine derartige Konzentration*) wird um so erheblicher sein, mit einem je ausgedehnteren und tiefer eindringenden Wurzelsysteme die untergegangene Vegetation versehen war. Höchst unbedeutend wird sie sein bei seichtwurzelnenden Gräsern, von grosser Wirksamkeit bei unseren Waldbäumen oder auch bei Feldgewächsen, die wie die Lupine oder gar die Luzerne ausserordentlich tiefgehende Wurzeln aussenden**).

Die vorhin***) mitgeteilte Analyse von Ackerkrume und Untergrund eines an der Versuchsstation zu Wageningen untersuchten Heidesandbodens giebt auch in dieser Beziehung ein sehr deutliches Resultat.

Namentlich beim Wald hat der daraus sich ergebende Sachverhalt sehr bedeutende praktische Folgen, und wesentlich auch aus diesem Gesichtspunkte ist es zu erklären, dass ein infolge von Bodenarmut unfruchtbares Terrain durch dauernde Waldkultur zu einiger Fruchtbarkeit gelangen kann. Wenn auch in diesem Falle der grösste Teil der vom Walde produzierten Pflanzenmasse im Holze weggeführt wird, so entsteht doch auf der Oberfläche des Bodens durch Laubfall und dergl. nach und nach eine Humusschicht, in der neben einer Stickstoff- und Kohlensäurequelle auch eine Reihe von angesammelten Aschenbestandteilen einer nun kommenden Vegetation zur Verfügung steht. Noch entschiedener muss aus demselben Gesichtspunkt die Möglichkeit einer periodischen Kornernte bei der Hackwaldwirtschaft beurteilt werden, wo die Halmfrucht ihre Aschenbestandteile im wesentlichen den eingässherten Wurzelstöcken der geschälten jungen Stämme, also den durch Pflanzenwuchs an der Oberfläche der Ackerkrume konzentrierten mineralischen Nährstoffen, entnimmt. Auch der alte Buchweizenbau auf den Hochmooren (Brandkultur) beruht hierauf, indem

*) Die Möglichkeit einer solchen wird wesentlich unterstützt durch eine eigentümliche, gerade einer humosen Schicht in besonders hohem Grade zukommende Fähigkeit des Bodens, eine Anzahl von mineralischen Stoffen in zeitweise unlöslichem Zustande in sich zurückzuhalten. Von derselben soll in den beiden nächsten Vorlesungen die Rede sein.

**) In der That erweisen sich fast alle Ackererden infolge dieses Verhaltens (und infolge der oberflächlichen Einverleibung der Düngestoffe, die ja nur eine Nachahmung jenes Verhaltens ist) in ihren oberen Schichten reicher an den meisten in Säure löslichen pflanzlichen Nährstoffen als im Untergrund, auch wenn man geradezu einen gelinden Raubbau getrieben hat; vergl. z. B. J. Nessler: Bericht der II. Wanderversamml. bad. Landw. u. s. w., Heidelberg 1867, p. 80.

***) Pag. 63.

ja beim Verbrennen nur Humus und Stickstoff verloren gehen, die Aschenbestandteile aber in konzentrierter Form zurückbleiben.

Dies sind ungefähr die Einflüsse, welche die Vegetation selbst auf die Konstitution der Ackererde ausübt, soweit sie sich bis jetzt übersehen lassen, und wir haben somit in der Vegetation ein *viertes Moment* der Bodenbildung von sehr ausgedehnter Wirksamkeit neben den drei anderen vorher behandelten erkannt. — *Beschaffenheit des bodenbildenden Gesteins, Verwitterung, Verschwemmung und Pflanzenwuchs* selber sind die vier Momente der natürlichen Bodenbildung.

Anschliessend an die weiter oben gegebene Bodenklassifikation haben wir dann auf Grund der neugewonnenen Thatsachen hinzuzufügen:

dass einmal alle die dort genannten Bodenklassen wieder in einige Untergruppen zerlegt werden können, je nachdem sie reicher oder ärmer sind an humosen Stoffen, und dass eine ganz neue Gruppe hinzukommt, deren mineralische Grundlage ganz und gar in den Hintergrund tritt, die der *Moorböden* (Veengronden holl.);

welche dann ihrer Hauptmasse nach aus humosen Stoffen bestehen. Die *Moorböden* werden zweckmässigerweise wieder zerlegt in Hochmoor- und Nieder- oder Grünlandsmoorböden*), die beide ebensowohl zur Torffabrikation wie als landwirtschaftliches Gelände dienen. Beide sind nicht allein ihrer Entstehungsweise (die ersteren wohl nie ohne die Mitwirkung der durch ihre wasseraufsaugende Kraft berühmten Sphagnummoose, die letzteren durch das Untersinken und Dichtwachsen von Sumpfland durch alle möglichen Sumpfpflanzen) nach verschieden, sondern auch hinsichtlich ihrer landwirtschaftlichen Nutzung insofern, als der Hochmoorboden mit seiner Krume ausser Bereich des Grundwassers sich befindet und einfach durch das Machen von tiefen Einschnitten trockengelegt werden kann.

Zur Bestimmung des Humusgehaltes von Böden behufs deren Klassifizierung ist jedenfalls die einfache Ermittlung des Glühverlustes der getrockneten Erde unter Ergänzung des durch diese Operation ausgetriebenen Hydratwassers und der Kohlensäure genügend. Nur wenn man ein Interesse hat, die wirklichen mehr oder weniger chemisch definierbaren Humusstoffe zu gewinnen, verdienen spezifische Methoden, Ausziehen mit Ammoniak und dergleichen, den Vorzug.

Strenggenommen können nun auch an Pflanzenüberresten reiche Böden einer Verschwemmung unterliegen, und es kann somit von neuem Anlass zur Trennung der einzelnen Bodenelemente, die nun nicht mehr alle rein mineralischer Natur sind, gegeben werden. Derartige Prozesse spielen aber in Wirklichkeit in Bezug auf Bodenbildung keine irgendwie bemerkenswerte Rolle, und wir können deshalb mit dem Gesagten unsere Betrachtungen über natürliche Bodenbildung als abgeschlossen ansehen.

*) Über die *Moorböden* in Holland vergl. namentlich Reinders: *Handboek voor den Nederl. Landbouw*, 1877, Bd. 1, p. 6 f. — Über Torfbildung vergl. J. J. Früh: *Über Torf und Dopplerit*, Zürich 1883.

Sechste Vorlesung.

Die chemische Beschaffenheit der Ackererde. — Die chemische Bodenanalyse. — Die Absorptionserscheinungen. — Die Ursache derselben.

Die fünf zunächst hinter uns liegenden Vorlesungen haben uns eingeführt in die früher vollzogenen und jetzt noch sich vollziehenden Vorgänge, deren Resultat die Entstehung der Ackererde ist. Wir haben gesehen, dass die bei diesem Prozesse ins Spiel kommenden Faktoren ausserordentlich mannigfaltige sind.

Schon die *ursprüngliche Zusammensetzung derjenigen Gesteinsarten*, auf welche die mineralischen Bestandteile aller Böden direkt oder indirekt zurückgeführt werden können, ist an den einzelnen Orten, wo jene zu Tage treten, eine ziemlich verschiedene, und so wickelt sich auch der *Verwitterungsprozess* trotz der wenigstens über gleiche Zonen ziemlich gleichmässig verbreiteten atmosphärischen Verwitterungsmomente in verschiedener Weise ab.

Von dem grössten Einfluss aber auf die spezifischen Eigenschaften eines jeden Bodens ist die *ungleichmässige Verschwemmung und Ablagerung der einzelnen zu seinem Aufbau verwendeten Bodenbestandteile*, welche von der ungleichen oberflächlichen Beschaffenheit der Erdoberfläche, d. h. von der Neigung der Bodenfläche an verschiedenen Orten, und von der bewegenden Kraft des Wassers bedingt ist; und sind einmal so tiefgreifende Unterschiede in der Bodenbeschaffenheit erlangt, so tritt meistens noch der *Pflanzenwuchs*, als bodenbildendes Moment, jene Verschiedenheit mehr und mehr verschärfend, hervor, da über an sich schon sterilen Bodenflächen die Pflanzendecke natürlich nur unvollkommen sich ausbreitet.

Die Verschiedenheit, welche thatsächlich hinsichtlich der Vegetationsbedingungen des Bodens auf einander naheliegenden Flächen besteht, ist uns somit leicht verständlich. — Allein wir werden diese Bedingungen noch mehr in ihren Einzelheiten formulieren müssen, um mehr zu gewähren als jene historische Übersicht der Erscheinungen und auch die einzelnen wirtschaftlichen Maassregeln, durch welche man jene Bedingungen abzuändern sich bestrebt, besser zu verstehen.

Diejenigen Vegetationsbedingungen, welche durch Zusammensetzung und Eigenschaften der Ackererde repräsentiert werden, sind so komplizierter Natur, dass bei Behandlung dieses Gegenstandes eine wohlgeordnete Einteilung not that, um eine klare Übersicht zu ermöglichen. Vorerst ist streng auseinander zu halten die Ackerkrume als *Ernährerin der Pflanze* und andererseits dieselbe als *Sitz oder Vermittlerin einer Reihe von physikalischen Verhältnissen*, die von Wert für die Vegetation sind, oder wie man sich auch ausdrücken kann, das *Bodenreservoir* und der *Bodenapparat*. Das vielfache Missglücken der Wasserkulturversuche z. B., wovon wir früher gesprochen haben, kann wesentlich dem Fehlen der Ackerkrume in dieser letzteren Eigenschaft zugeschrieben werden, da für die Ernährung schliesslich doch in sehr vollkommener Weise gesorgt war, und nur, wenn man es erreichte, auch jene physikalischen Be-

dingungen ohne Ackerkrume auf einer Reihe von Umwegen herzustellen, konnte man es zu üppigen Vegetationen bringen. Dies einfache Beispiel genügt, um uns die beiden grossen Reihen von Funktionen, welche das Medium der Ackererde der Pflanze gegenüber auszuüben hat, klar vor Augen zu führen.

Wenden wir uns der Betrachtung der Ackererde als *Ernährerin* zu, so liegt auf der Hand, dass hier die einschlagenden Eigenschaften derselben durch ihre chemische Zusammensetzung gegeben sein müssen; aber wenn wir uns der ausführlich behandelten Gesetze der Stoffaufnahme erinnern und gleichzeitig jener That-sachen, die wir bei Besprechung der Bodenentstehung kennen gelernt haben, so werden wir hinzusetzen müssen, unmöglich durch diese Zusammensetzung, wie sie die chemische Pauschanalyse ergibt, *allein*, sondern natürlich auch durch die nähere Gruppierung der einzelnen Stoffe, durch die chemische Form der einzelnen Bestandteile.

Wir können zwar mit Gewissheit aussprechen, dass ein Boden, in dem wir durch die chemische Analyse keine Spur von Kali, von Magnesia oder von Phosphorsäure nachweisen können, absolut unfruchtbar sein wird, da alle zu kultivierenden Pflanzen notwendig dieser Stoffe zu ihrem Gedeihen bedürfen. Der umgekehrte Schluss aber, nach welchem ein Boden, in dem alle einzelnen Nährstoffe in genügenden Mengen nachgewiesen werden können und der keine dem Pflanzenwuchs schädlichen Stoffe, keine ungünstigen physikalischen Bedingungen in sich enthält, ohne weiteres als ein fruchtbarer zu bezeichnen wäre, ist in dieser allgemeinen Form als unzulässig zu verwerfen; denn nicht alle Nährstoffe, die in der Erde enthalten sind, können im Bodenwasser gelöst werden, sondern viele derselben sind möglicherweise Bestandteile noch unverwitterter und sehr schwer zersetzbarer Mineralien; und auch die lösende Kraft der Pflanzenwurzel ist viel zu gering, um alle jene Mineralien erheblich anzugreifen, ferner ihre Verzweigung zu unvollkommen, um mit genügend vielen Mineralstückchen in Berührung zu kommen. Jener erste Schluss aber ist von praktisch sehr untergeordneter Bedeutung, da eben Böden, worin ein oder der andere Nährstoff völlig fehlt, zu den grössten Seltenheiten gehören, während die eben besprochene Schwierigkeit dem landwirtschaftlichen Chemiker bei Bodenuntersuchungen alle Tage im Wege steht.

So kommt es, dass die Pauschbodenanalyse nur Fingerzeige bieten kann und entfernt nicht als *exaktes Maass* *) zu dienen vermag für die Leistungsfähigkeit einer Ackererde als Pflanzenernährerin; und auch das erstere kann sie nur leisten, wenn

*) Dass der Reichtum eines Bodens an einzelnen Pflanzennährstoffen, wie z. B. an Phosphorsäure, als brauchbarer Maassstab für die Bonitierung gelten kann (vergl. Annal. der Chemie und Pharm., Suppl. VI, p. 332, u. Jahresber. f. Agrikult.-Chemie, 1866, p. 41), muss als eine Ausnahme gelten. Einen ähnlichen Fall habe ich namhaft gemacht (vergl. Fühlings Landw. Zeitung, 1877, S. 726). In diesem konnte der Bodenwert sechs friesischer Erd-sorten ziemlich genau nach dem Phosphorsäuregehalt desselben bestimmt werden. Bezüglich anderer Nährstoffe ist eine grosse Übereinstimmung niemals konstatiert worden, wohl bezüglich des Thongehalts oder des natürlichen Wassergehaltes (vergl. Thoms: Tagebl. d. Naturforscherversammlung, 1886, 29 Sect., 21. Sept.); doch dies ist eine andere hier nicht zu erörternde Beziehung.

dem Urteillenden eine genügende Erfahrung zu Gebote steht über die durchschnittliche Zusammensetzung anderer in ihrer thatsächlichen Fruchtbarkeit bekannten Ackererden.

Es lässt sich denken, dass man zu der Zeit, wo man eben die Hauptsätze der Pflanzenernährung erkannt, aber noch nicht über die Verhältnisse im Boden und über die Beziehungen zwischen Wurzel und Boden einen klaren Blick gewonnen hatte, mit freudiger Hast Bodenanalysen auf Bodenanalysen unternahm in der Hoffnung, so eine exakte Grundlage zu finden*) nicht bloss für Bodentaxation und Bonitierung, die bekanntlich noch immer in rein empirischer Weise vorgenommen wird, sondern für eine rationelle Düngewirtschaft. — Aber wie gross war die Enttäuschung, die man erleben musste. — Ein Glimmerschieferboden von äusserster Sterilität ergab vielleicht 3 % Kali, der an Fruchtbarkeit unübertroffene Nilschlamm $\frac{1}{2}$ %, und dennoch zeigte sich ersterer ausserordentlich dankbar gegen Kalidüngung, bei letzterem erschien eine Steigerung der Erträge durch Düngung fast undenkbar.

Wir wissen jetzt, warum ein derartiges Bestreben eine herbe Enttäuschung erfahren musste, und wir suchen in dem gewählten Beispiele die Ursache in der unangreifbaren Form, in welchem das Kali im Glimmer des Glimmerschiefers vorhanden ist; und die Sache ist in der That so einfach, dass man auch wirklich bald den Grund des Misserfolges erkannte. Man unternahm nun, bei den vorzunehmenden Analysen zu unterscheiden zwischen leicht löslichen und schwer löslichen Stoffen, zwischen solchen, die der Pflanze zugänglich sein sollten, und anderen, die von ihr nicht aufgenommen werden konnten. — Man untersuchte zunächst die im Boden zirkulierenden Lösungen, von dem Gedanken ausgehend, dass diese allein die für die Pflanzen zugänglichen Stoffe enthalten könnten. Aber auch mit dem auf diese verschiedenen Arten nachgewiesenen Gehalte an Pflanzennährstoffen wollte das für die Vegetation erfahrungsmässig zur Verfügung Stehende nicht stimmen. Manche Mineralstoffe, die von den Pflanzen in grosser Menge assimiliert wurden, konnten gar nicht in der Bodenlösung nachgewiesen werden u. s. w. Dies gilt z. B. für die Phosphorsäure, die in vielen Bodenlösungen nicht oder nur in äussersten Spuren nachgewiesen werden kann.

Erst später, als man klar erkannt hatte, dass die Bodenlösung nichts Feststehendes sei, dass vielmehr dieselbe mit den ungelösten Teilen des Bodens in unausgesetzter Wechselwirkung stehe, dass — je nach Zunahme oder Abnahme des Wasserreichtums irgend eines Bodens — bis dahin ungelöste Bestandteile in die

*) Davy war wohl der erste, der diese bestimmte Hoffnung erweckte (vergl. dessen Elemente d. Agrik.-Chemie, 1814, p. 3). Bodenuntersuchungen sind zwar schon in sehr viel früherer Zeit unternommen worden, lange vor der Periode, wo man befähigt war, von pflanzlichen Nährstoffen als von ganz bestimmt fassbaren, chemisch definierbaren Substanzen zu sprechen; einfach deshalb, weil der Zusammenhang zwischen gewissen Eigenschaften eines Bodens und dessen Ertragsvermögen gar zu auffällig war. Indessen konnte erst in jener späteren Periode, wo eine nahezu vollkommene Klarheit wenigstens in Bezug aller der Stoffe, die eine höhere Pflanze zu ihrem Wachstum notwendig bedarf, herrschte, von der ganz bestimmten Hoffnung die Rede sein, unmittelbar aus der Zusammensetzung eines Bodens, dessen Fähigkeit, Pflanzen zu produzieren, durch einen einfachen Kalkül zu ermitteln.

Lösung übergangen oder aus dieser Lösung wieder fixiert würden; als man weiter eingesehen hatte, dass die durch Wasser nicht ausziehbaren Bestandteile nicht samt und sonders für die Pflanzenwurzel unzugänglich seien, dass diese letztere vielmehr durch selbständige Thätigkeit ungelöste Stoffe in Lösung überführe, gab man die Hoffnung auf, mit so einfachen Mitteln die unmittelbare Nährfähigkeit eines Bodens bestimmen zu können.

Allein man experimentierte weiter. Man unternahm es, die Erden zur Ermittlung ihres Reichtums an Pflanzennährstoffen mit stärker angreifenden Lösungsmitteln, mit verdünnten und konzentrierteren Säuren, mit Salzlösungen etc. zu behandeln, in der Hoffnung, durch Probieren ein Lösungsmittel ausfindig zu machen, das ungefähr dasselbe leiste wie eine gesunde Pflanzenwurzel. Man übersah zu Beginn dieser Bestrebungen freilich die sich aus den Gesetzen der Stoffaufnahme ergebende Thatsache, dass eine viel grössere Menge von Nährstoffen in der Zeiteinheit zur Aufnahme disponibel sein muss, als wirklich von der Wurzel aufgenommen werden kann, und auch wohl, dass das Verhältnis beider Grössen, welches doch, um jene Schlussfolgerungen ziehen zu können, bekannt sein müsste, kein für alle Pflanzen konstantes, sondern von spezifischen Eigentümlichkeiten der Bewurzelung abhängig sein muss. Wenn also schon von vornherein gesagt werden konnte, dass die so gestellte Frage nicht in allgemeiner Weise zu beantworten war, da einer jeden Pflanzenspezies eigentümliche Kräfte in jener Hinsicht zu Gebote stehen, so ist zunächst auch die Hoffnung, sich auf jene Weise nur ein ungefähres Bild von dem in der Erde für ein Gewächs mittlerer Lösungsenergie Verfügbaren zu verschaffen, betrogen worden*).

Die Bestrebungen, die Bodenanalyse noch in der ursprünglichen Richtung weiter auszubilden, sie zum Maassstab der vorhandenen Bodenfruchtbarkeit zu machen, standen lange Zeit sehr vereinzelt da. Jedermann hegte die Meinung, dass die thatsächlichen Verhältnisse der Vorgänge im Boden und der Ernährung der Pflanzen viel zu komplizierte seien, um die früher gehegten Hoffnungen noch aufrecht zu erhalten. Die chemische Bodenanalyse diente nur noch dazu, Fragen sekundärer Art zu beantworten, z. B. um anzugeben, was von einem Boden in zukünftigen Zeiten etwa erwartet werden kann, sie suchte Ursachen auf für eine beobachtete Unfruchtbarkeit und vermochte natürlich zu allen Zeiten, zusammengehalten mit praktischen Erfahrungen, mit der mechanischen Analyse, mit der geognostischen Beschaffenheit

*) Es ist vielleicht nichts mehr im stande zu zeigen, dass es lange Zeit so aussichtslos mit der Bodenanalyse in der erwähnten Richtung stand, als dass von den Agrikulturchemikern geradezu der Vorschlag gemacht wurde, das *von gewissen Pflanzen Aufgenommene* als Maassstab des für die Pflanzen Verfügbaren gelten zu lassen, d. h. also doch die direkte Wahrnehmung an Stelle der theoretischen Deduktionen zu setzen und so, bewusst oder unbewusst, den Bankerott der Theorie in dieser Hinsicht als vollständig zu erklären. Vergl. z. B. die Vorschläge Hellriegel's: Landw. Versuchszt., 1869, p. 140, und noch mehr die ausgearbeitetere Methode von Heinrich, der die Wurzeln gereifter Pflanzen nach seiner Erfahrung als ein sehr brauchbares Analysenobjekt hinstellt, um aus deren Gehalt an Nährstoffen den verfügbaren Vorrat der Böden zu beurteilen. Vergl. Grundlagen z. Beurt. der Ackerkrume, Wismar 1882, p. 60 f.

der vorhandenen Mineraltrümmer wichtige Anhaltspunkte zu geben; aber sie machte nicht mehr die Prä tension als ein direkter oder gar alleiniger Maassstab der Fruchtbarkeit. Dementsprechend wendete man zur Bodenanalyse in der Regel nicht schwache verdünnte Säuren an, die in ihrer Lösungskraft der Aufnahmefähigkeit der Wurzel gleichkommen sollten, sondern konzentriertere, die jedenfalls alles das aufnehmen, was für die Wurzel noch irgend in Betracht kommen kann, eben weil man auf jene direkte Schlussfolgerung von vornherein verzichtete.

In diesen wenig hoffnungsvollen Zustand ist erst in den letzten Jahren wieder einige Veränderung gekommen durch die fortgesetzten Bemühungen einzelner*) und namentlich durch die folgende Überlegung, welche allerdings einfach genug ist, trotzdem aber häufig ausser acht gelassen wird. Wenn eine Erde in einer viele Monate dauernden Vegetationsperiode von einem Nährstoffe viel aus dem Boden entnimmt, so ist diese Menge doch nur in seltenen Fällen grösser als 100 Kilo auf den Hektar. Die Gesamterde von einer so grossen Ackerfläche wiegt aber bis auf eine Tiefe, auf welche die Wurzel noch wirkt, 10 Millionen Kilo, das ist also 100000 mal so viel. Daraus folgt, dass eine Bodenanalyse, welche diejenigen Mengen, welche für die Pflanzenernährung noch in Betracht kommen, berücksichtigt, jedenfalls auf Tausendteile eines Prozentes, um diese Mengen richtig abzuschätzen, aber auf noch kleinere Bruchteile Rücksicht nehmen muss. Da man, um solche Unterschiede noch mit Sicherheit wiegen zu können, dann doch wenigstens 1 Centigramm haben muss, so darf für die Bestimmung eines einzelnen Stoffes sicher nicht minder als 1 Kilo Erde, lieber mehrere Kilo in Angriff genommen werden; während das Auslaugungsmittel natürlich entsprechend schwach sein muss, um nicht einen grossen Ballast von gleichgültigen Stoffen mit in Lösung zu bekommen und so viel wie möglich die Wirkung der Pflanzenwurzel nachzuahmen.

Ein derartiges Vorgehen ist nun aber so wenig in Übereinstimmung mit den gewöhnlichen Analysemethoden, wie sie seitens der Agrikulturchemiker zur Untersuchung von Handelsdünger, Futtermitteln oder anderen landwirtschaftlich wichtigen Stoffen in Anwendung sind, dass schon darin ein Grund gelegen ist, dass man zu einer solchen dazu so unbequemen Neuerung sich nicht leicht entschloss. Auch sind die Mengen von Erde, welche den Laboratorien gewöhnlich behufs der Untersuchung eingeschickt werden, in den meisten Fällen nicht auf derartige Verhältnisse berechnet, und auch dies ist ein Grund, warum die Ausbildung der Bodenanalyse in einer gesunden Richtung so lange auf sich warten liess. Da aber Bequemlichkeitsrücksichten in wissenschaftlichen Dingen nicht maassgebend sind, so wird man sich endlich zu einer Reform der Bodenanalyse in der angedeuteten Richtung entschliessen müssen, und es hat allen Anschein, als ob man nun endlich mit einer solchen zu stande kommen sollte. Zwar wird man mit derselben wohl niemals so weit kommen, wie man mit der Analyse von Düngestoffen gekommen ist, d. h. dass man eine Wertschätzung

*) Neuerdings hat Hellriegel (Naturforscherversammlung zu Magdeburg 1884) wieder die Bodenlösung zu analysieren empfohlen, aber sehr grosse Mengen derselben, so dass Milliontel zu bestimmen sind, und Thoms hat durch seine enquêteartigen Untersuchungen die Aufmerksamkeit auf diesen Gegenstand gelenkt.

eines Bodens wagen darf allein auf Grund der im Laboratorium ermittelten Zahlen, aber man darf hoffen, durch eine rationelle Umgestaltung der Methode in der angedeuteten Richtung Zahlen zu ermitteln, die wenigstens als brauchbare und in manchen Fällen unentbehrliche Beiträge zu einer solchen Schätzung gelten können, während die alte Bodenanalyse mit ihren konzentrierten Säuren und geringen Mengen untersuchter Erde mehr geeignet ist, ein Bild zu geben von der allgemeinen chemischen Konstitution, aber nur sehr undeutlich und verschwommen von dem augenblicklich verfügbaren Vorrat an Nährstoffen, welches letztere doch in den meisten Fällen das wichtigere ist.

Namentlich werden Auszüge von einem oder mehreren Kilos Erde mit ungefähr 1 prozentiger Zitronensäure Aussicht haben, ein verhältnismässig richtiges Bild des augenblicklich Verfügbaren zu geben, einestheils weil dieser Gehalt mit dem mittleren der Pflanzenwurzeln an Säuren übereinzustimmen scheint*) und weil auch mit dergleichen verdünnten Lösungen Phosphate mit guter Übereinstimmung auf den wirklichen Gebrauchswert untersucht worden sind**). Aber die Angelegenheit ist noch nicht so weit gediehen, dass wir bereits feste Grenzziffern für diese oder jene Kultur, nach solchen neuen Methoden ermittelt, angeben könnten.

Sodann giebt es noch einige spezielle Fälle, in denen die Bodenanalyse auch selbst in ihrer alten unfertigen Form schon eine erhebliche praktische Bedeutung erlangt hat zur Beurteilung der Fruchtbarkeit. Es sind dies namentlich Fälle, wo man durch einfache qualitative Reaktionen schädliche Bestandteile im Boden konstatieren kann. Als solche sind namentlich zu nennen:

Die *Anwesenheit einer sauren Reaktion*, durch Lackmuspapier eine halbe Stunde lang mit feuchter Ackererde in Berührung zu lassen, leicht zu konstatieren. Diese Reaktion ist manchen Kulturgewächsen, u. a. den Zuckerrüben (am wenigsten den Gräsern) sehr nachteilig. In Verbindung hiermit steht die Reaktion auf kohlen-sauren Kalk, der nebst anderen nützlichen Funktionen auch die hat, dass er eine nahezu neutrale oder schwach alkalische Reaktion verbürgt, ohne selbst alkalisch zu reagieren***).

Die *Anwesenheit von Eisenoxydul*†), nicht an sich so gefährlich — manche Pflanzen, wie Kopfkohl und Hafer, ertragen davon recht erhebliche Mengen — aber ein äusserst schlechtes Zeichen für eine ungenügende Durchlüftung der Ackererde, während doch die Pflanzenwurzeln des freien Sauerstoffs für ihre Atmung nicht entbehren können ††).

*) Vergl. B. Dyer: Journ. of the chem. Society 65, March 1894. Warington erhielt nach einer solchen Methode bereits sehr ermutigende Resultate. Science Progress, May 1894, p. 193. Vergl. auch Märcker: Bericht über die Versuchsstation Halle im Jahre 1893, p. 9.

**) Vergl. die Untersuchungen von Ackererden aus der Provinz Sachsen durch Märcker.

***)) Eine schädliche Alkalinität entsteht infolge der Anwesenheit von kohlen-saurem Kalke nur in trockenen Klimaten und dann selbst Sodaauswitterung, z. B. in Ungarn und Californien.

†) Untersuchungen auf diesen Bestandteil geschehen am besten durch Einlegen von Ferridcyanalium in feuchte Bodenklümpchen und Beobachten einer blauen Zone.

††) Vergl. Ad. Mayer: Landbouw Weekblad, 1892, Nr. 31.

Eine bestimmte Seite der Bodenchemie hat dagegen schon in dem dritten Viertel unseres Jahrhunderts eine sehr vollständige Bearbeitung erfahren und wir können von derselben sprechen als von etwas, das hinter uns liegt. Ich ziele mit diesen Worten auf eine zunächst sehr merkwürdig erscheinende Eigenschaft aller fruchtbaren Bodenarten, der sogenannten „*Absorption der Ackererde*“. Diese Eigenschaft besteht in kurzem darin, gelöste Stoffe sehr verschiedener Art, vorzüglich aber unorganische Substanzen, unter ihnen eine Reihe von Pflanzennährstoffen, in sich niederzuschlagen, so dass die durchfiltrierende Lösung weit ärmer an diesen gelösten Stoffen wieder aus der Erde austritt. Wir können dieselbe selbst durch einen Vorlesungsversuch erläutern, indem wir verdünnte Jauche durch diese Erdschicht filtrieren lassen und eine vergleichende Ammoniakreaktion der ursprünglichen und der durchfiltrierten Flüssigkeit vornehmen. Diese Eigenschaft, die wir sogleich einem näheren Studium auf Ursache und Wirkung unterwerfen werden, steht mit der Ernährung der Gewächse aus der natürlichen Ackererde in so inniger Beziehung, dass von einer klaren Vorstellung dieser Ernährung nicht wohl die Rede sein konnte, bevor man eine genaue Kenntnis der hier einschlagenden Thatsachen erworben hatte.

Es hat in der letzten Zeit viele Erörterungen darüber gegeben, wem die Priorität der Entdeckung der Bodenabsorption eigentlich gebühre. Thatsache ist freilich, dass vor der wissenschaftlichen Inangriffnahme des bedeutsamen Gegenstandes verschiedene Theoretiker und Praktiker gelegentlich auf die Bekanntschaft und auch wohl auf die richtige Schätzung desselben hingewiesen haben*).

Allein wenn wir eine Entdeckung datieren von dem Zeitpunkte an, zu welchem dieselbe so dargestellt wird, dass man ihre Bedeutung erkennt, so müssen an dieser Stelle zuerst zwei Engländer, Huxtable und H. S. Thomson, die um das Jahr 1850 ihre Beobachtungen machten, genannt werden. Der erstere hatte zwar nur die Veränderung der durch Gartenerde filtrierten Mistjauche wahrgenommen, letzterer dagegen einen entschiedenen Schritt vorwärts gemacht, indem er ausserdem die Absorption für chemisch genau definierbare Substanzen und wichtige Pflanzennährstoffe, nämlich für freies Ammoniak und Ammoniaksalze, festgestellt hatte**).

*) Zuerst mit klaren Worten (und einiger Erkenntnis seiner Tragweite wohl der Italiener Gazzeri (vergl. A. Orth: Landw. Versuchsst., Bd. XVI, p. 56) im Jahre 1819, welcher von der Entfärbung der Jauche durch Thon spricht und daran die Bemerkung knüpft: „Die Erde, und besonders der Thon, bemächtigt sich der dem Erdreiche anvertrauten auflöslichen Stoffe und hält sie zurück, um sie den Pflanzen nach und nach, ihrem Bedürfnisse angemessen, mitzuteilen“. In Deutschland hat man einige Zeit auf ähnliche Bemerkungen Bronner's aus dem Jahre 1836 (vergl. Bronner: Der Weinbau in Süddeutschland, Heidelberg 1836, p. 44) einen grossen Wert gelegt, von welchen folgende angeführt sein mögen: „Man fülle eine Bouteille, die an ihrem Boden ein kleines Loch hat, mit feinem Flusssande oder halbtrockner gesiebter Gartenerde an. In diese Bouteille giesse man allmählich so lange dicken und ganz stinkenden Mistpfuhl, bis die ganze Masse durchdrungen ist; die aus der unteren Öffnung hervorkommende Flüssigkeit wird fast geruchlos und farblos erscheinen und die Eigenschaften des Pfuhls ganz verloren haben.“ Und dann weiter: „Ich glaube also durch die beigefügten Thatsachen hinreichend bewiesen zu haben, dass die Wirkung des Düngers nicht so weit eingehe, als manche glauben, sondern dass sie näher dem Bereiche der Oberfläche stehe als der Sohle des Bodens“.

**) Vergl. Journ. of the Roy. Agric. Soc., 1850, T. XI, p. 68.

Der erste dann, welcher die in Rede stehende Erscheinung mit Umsicht theoretisch bearbeitete, war kurz nach der Entdeckung derselben gleichfalls ein Engländer, Way. Von diesem Forscher liegt nicht bloss eine Reihe von Versuchen*) mit Lösungen von sehr verschiedenen Substanzen vor; derselbe hat auch zur Erklärung der merkwürdigen Erscheinung ein gutes Stück beigetragen.

Way prüfte viele Erdarten auf ihr Absorptionsvermögen, eine Reihe von pflanzlichen Nährstoffen und ähnlichen Mineralsalzen auf ihre Absorbierbarkeit**); er zeigte, dass Kali und Ammoniak in der Weise durch Ackererden absorbiert werden, dass, wurden sie in Form von Lösungen aufgegeben, die abfliessende Flüssigkeit einen Teil ihres Kali- oder Ammoniakgehaltes verloren hat, dass aber die Salpetersäure, Schwefelsäure, Salzsäure, an welche jene Basen gebunden waren, in jener in unveränderter Menge aufgefunden werden, aber an Stelle des Kalis oder Ammoniaks nun teilweise an eine andere Base, vorzugsweise an Kalk, gebunden. Wir haben es also in diesem Falle mit einem wahren chemischen Austausch zweier Basen zu thun; die eine wird in die Konstitution der Ackererde aufgenommen, die andere dafür abgegeben. Es ist wichtig, dabei hinzuzusetzen, dass die Menge der für die absorbierte Base an die Lösung abgegebenen Base, wie schon damals vorausgesetzt wurde und spätere Untersuchungen unzweideutig gelehrt haben, weit grösser ist, als schon durch Auswaschen mit einer entsprechenden Menge Wasser erhalten werden kann.

Die Versuche Way's lehrten weiter, dass auch freies Kali und Ammoniak, in Lösungen mit dem Boden in Berührung gebracht, absorbiert werden, dass Phosphorsäure desgleichen festgehalten wird und dass für Salze, deren Basen und Säuren gleichzeitig absorbierbar sind, wie z. B. für phosphorsaures Kali und Ammoniak, auch an den austretenden Flüssigkeiten keine Wechselersetzung wahrzunehmen ist. Auch für Natron-, Magnesia- und Kalksalze ist von Way Absorption nachgewiesen worden.

Es würde uns zu weit führen, auf die Einzelheiten dieser Versuche einzugehen, und es würde dies auch unnötig sein, da dieselben an Vollständigkeit durch spätere weit überholt worden sind. Wichtig aber sind die Erklärungsversuche Way's; an sie knüpfen sich Kontroversen von grosser Tragweite für unsere Vorstellungen vom Wesen der ganzen Absorptionerscheinung an. Derselbe fasste den ganzen beobachteten Vorgang als eine chemische Reaktion zwischen Erde und Lösung auf und stellte sich die Frage, welche chemischen Bestandteile der Ackererde wohl der Sitz und die Ursache jener Reaktionen seien. — Es wurden Versuche unternommen über die Absorptionskräfte künstlich dargestellter chemischen Verbindungen, deren Vorhandensein in der Ackererde mit einiger Wahrscheinlichkeit angenommen werden konnte, und siehe da, es zeigte sich, dass eine Reihe von wasserhaltigen Doppelsilikaten, bestehend aus kieselaurer Thonerde einerseits und der kiesel-sauren Verbindung der Basen, für welche Absorbierbarkeit in der Ackererde festgestellt worden

*) Vergl. ebenda T. XI, p. 313, u. T. XV, p. 91.

**) Aus dem hier gemachten Gebrauch von den Wörtern „Absorptionsvermögen“ und „Absorbierbarkeit“ ergibt sich der Sinn, in welchem ihre Anwendung in diesem Werke erfolgen wird.

war, andererseits, leicht herzustellen war, und dass diese Doppelsilikate die Fähigkeit hatten, jene Basen auszutauschen, wenn sie mit einer Salzlösung einer anderen Base in Berührung gebracht wurden. Auf die Entstehung von dergleichen Verbindungen und deren chemische Umgestaltung wurden dann die Absorptionserscheinungen zurückgeführt, dieselben also als *rein chemische Vorgänge* aufgefasst. Die verschieden starke Absorption für die einzelnen Basen wurde einfach aus der verschieden grossen Affinität des Restes jener Doppelsilikate zu den einzelnen Basen erklärt und sogar eine Verwandtschaftsreihe der verschiedenen Basen aufgestellt, in Bezug auf welche übrigens ein erhebliches Schwanken in der Meinung des Experimentators sich geltend machte.

Wir müssen hier schon kurz darauf hindeuten, dass die spätern ausserordentlich umfassenden Arbeiten über Absorption nach langen Irrwegen wieder auf das Wesen der Way'schen Erklärung zurückgeführt haben, wenn man auch häufig andere chemischen Reaktionen als die von diesem angenommenen als wesentlich für die eine oder die andere Absorptionserscheinung erkannte. So kann ja nicht verschlossen bleiben, dass z. B. der eben angedeutete Way'sche Erklärungsversuch die Phosphorsäureabsorption ganz und gar nicht berücksichtigt.

Der weitere geschichtliche Verlauf der einschlagenden Entdeckungen und theoretischen Entwicklungen ist nun folgender:

Liebig war in Deutschland der erste, der die Wichtigkeit der Way'schen Arbeiten für die Theorie der Pflanzenernährung im Boden und der Düngung erkannte*). Derselbe unternahm eine umfangreiche Untersuchung**), in welcher die Way'schen Resultate geprüft, bestätigt und in mehreren Richtungen erweitert wurden. Namentlich wurden von demselben ausgedehntere Versuche über Absorption von Phosphorsäure und von kieselsaurem Kali unternommen. Für die Absorption des kieselsauren Kalis wurde unter anderem festgestellt, dass durch Zumischen von kohlsaurem Kalk zu manchen Erden, die an sich schon das Kali stark absorbieren, die Aufnahme der Kieselsäure gesteigert werden könne, dass sehr humusreiche Erden das Kali allein, nicht aber die Kieselsäure festhielten, dass endlich das Thonerdehydrat das Kaliwasserglas in ausserordentlich grossen Mengen absorbiere. Kurz, derselbe ermittelte mit grosser Deutlichkeit eine Reihe neuer Absorptionserscheinungen, denen der Charakter einer chemischen Reaktion so unleugbar aufgeprägt ist, dass man den Verlauf des Chemismus fast unmittelbar versteht.

Allein Liebig nimmt Anstand an den Way'schen Erklärungsversuchen, er weist auf Resultate seiner eigenen Experimente hin, welche anzudeuten schienen, dass die verschiedene Zusammensetzung der einzelnen zu seinen Versuchen verwendeten Bodenarten die Kaliabsorption nicht merklich alteriere, dass dieselbe nicht mit dem Thongehalt dieser Erden parallel gehe, und dass dies doch nach der Way'schen

*) Keineswegs der erste, der dieser Erscheinung in Deutschland Erwähnung that. Schon in der Phytochemie Rochleder's, die im Jahre 1854 erschien, ist von den Absorptionskräften der Erde, wie von einem längst bekannten Dinge (freilich nicht unter diesem Namen) die Rede; vergl. p. 334 des genannten Werkes.

**) Annal. d. Chem. u. Pharm., Bd. 105, p. 109.

Erklärung hätte vorausgesetzt werden müssen, und neigt*) zu einer wenigstens teilweise physikalischen Anschauung des ganzen Vorgangs.

Die wichtigen Schlüsse, die Liebig aus seinen und Way's Absorptionsversuchen in Bezug auf die Pflanzenernährung im Boden zog, und an welche sich hauptsächlich der späterhin geführte langatmige Streit anknüpfen sollte, übergehe ich einstweilen noch mit Stillschweigen, indem ich der Einfachheit der Darstellung wegen es vorziehe, erst die Frage nach der Natur der Absorptionserscheinungen, hinsichtlich welcher Way eine ganz bestimmte, nachmals von Liebig angezweifelte Anschauung ausgesprochen hatte, nach dem übrigen noch vorliegenden Untersuchungsmaterial zu beantworten.

Liebig hatte wie in so vielen anderen Dingen auch in Bezug auf den Gegenstand der Bodenabsorption eine weithin zündende Anregung gegeben; er verstand wie keiner vor ihm die ganze Bedeutung und Tragweite der von ihm experimentell bearbeiteten Erscheinungen, und deshalb vermochte er auch hier jene eindringliche, ja überwältigende Sprache zu reden, die seine Schriften so vorteilhaft kennzeichnet. Freilich sollten ihm die neuen Thatsachen nebenbei auch als Mittel dienen, eine Deckung für den Bankrott seiner Mineraldünger zu erhalten. — Männer, die sich schon im Jahre 1858 mit den landwirtschaftlich-naturwissenschaftlichen Fragen beschäftigten, haben mir den tiefen Eindruck 'geschildert, welche die Liebig'sche Abhandlung über Bodenabsorption in ihnen hervorgerufen habe; und diese, ich möchte wohl sagen, „moralische“ Bedeutung des Liebig'schen Auftretens**) wird hier wie an vielen anderen Orten nicht gelegnet werden können, wenn es auch der scharf prüfenden Kritik immer mehr und mehr gelingen sollte, das eigentlich Greifbare seiner Leistungen auf dem Gebiete der Agrikulturchemie, das in einem in sich abgeschlossenen Satze fertig dargestellt werden könnte, in ein Nichts aufzulösen.

So kommt es, dass die eigentliche fruchtbare Behandlung der aufgeworfenen Fragen erst in Deutschland durch jene Liebig'sche Abhandlung selbst hervorgerufen wurde. — Nun aber warf sich alles mit Begeisterung auf diesen neuen

*) Ich sage, neigt zu einer physikalischen Anschauung, denn Liebig ist in Bezug auf eine derartige Schlussfolgerung vorsichtig und vielleicht etwas unentschieden. Es ist wegen Missverständnissen, die sich in dieser Hinsicht eingeschlichen haben, durchaus notwendig, hierauf aufmerksam zu machen. Man vergl. a. a. O., p. 111, wo von dem Way'schen Erklärungsversuche die Rede ist: „Diese letztere Ansicht, nach welcher die beschriebene Wirkung der Ackererde auf einer rein chemischen Ursache beruhen und sich daraus erklären würde, besitzt, wie ich glaube, keine allgemeine Gültigkeit; denn das reine Thonerdehydrat besitzt die Eigenschaft, kohlen-saures Kali und Ammoniak zu absorbieren, in höherem Grade als die Ackererden“. Ferner p. 120 ebenda: „Die chemischen Beziehungen zeigen sich deutlich in dem Verhalten der Kalisalze zu den Ackererden und ihrer Umsetzung in Kalk- und Magnesiaverbindungen“. Dagegen p. 134: „In dem Boden sind diese Stoffe in einem ähnlichen Zustande, wie etwa Farbstoffe in der Kohle oder Jod in Jodstärkemehl enthalten u. s. w.“, wo diese chemischen Beziehungen wieder völlig ge-
leugnet erscheinen und jedenfalls den Ackererden als solchen spezifische Fähigkeiten, ganz abgesehen von ihrer Zusammensetzung, zugeschrieben werden.

**) Vergl. hierüber meine biographische Skizze über Justus v. Liebig: Deutsche Warte 1873.

Gegenstand, von dem man so viel Aufklärung für ein bis dahin dunkles Gebiet erwartete, und das Decennium nach dem Erscheinen des Liebig'schen Aufsatzes, der den Anstoss gegeben hatte, ist ausserordentlich reich an tüchtigen und umfangreichen Arbeiten über die Bodenabsorption. Es kann nun entfernt nicht in dem Sinn der hier zu gebenden Darstellung liegen, jene Arbeiten alle in ihren Einzelheiten verfolgen und jede derselben nach ihrem Verdienste würdigen zu wollen*),

*) Schon Völcker (Wilda Centralbl., 1858, p. 1 und besonders 8), der kurz vor Liebig eine Abhandlung über Absorptionserscheinungen veröffentlichte, hat wieder auf die chemische Natur derselben aufmerksam gemacht. Derselbe wies nach, dass die schweren, thonhaltigen Böden stärkere Absorption zeigten wie die leichten, sandreichen, und stimmt den Way'schen Schlüssen vollkommen bei, die nicht dem Thone an sich, aber wohl gewissen Verbindungen, in denen Thonerde ein charakteristischer Bestandteil ist, Absorptionsfähigkeit beilegen; er denkt nicht entfernt daran, in mechanischer Weise der Ackererde als solcher, gleichviel aus welchen Bestandteilen sie zusammengesetzt sei, eine derartige Befähigung beizulegen. — Ganz anders in Deutschland. Hier war einmal von einer grossen Autorität der Gedanke an eine „physikalische Absorption“, wenn auch nicht mit diesem Ausdrucke, ausgesprochen — Grund genug für eine ganze Reihe nachkommender Experimentatoren, das Bestehen einer solchen Erscheinung über allen Zweifel erhaben zu wähen. Henneberg und Stohmann, deren Arbeit (Journ. f. Landw., 1859, p. 25) über die Bodenabsorption in mehrfacher Beziehung sehr wichtige Thatsachen zu Tage gefördert hat, schliessen unter anderem, dass, „um die Absorptionserscheinungen der Ackererden zu erklären, nicht überall die Annahme chemischer Zersetzungen nach den Regeln der Affinität ausreichend“ sei. Brustlein, dessen Untersuchungen (Annal. de Chim. et de Phys., 1859, p. 157) uns gleichfalls mit einzelnen neuen Daten bereichert haben, meint in seinen Schlussfolgerungen: „Die Absorptionsfähigkeit der Ackererde für Ammoniak hängt beinahe ausschliesslich ab von der physikalischen Beschaffenheit der Mineralsubstanzen und der organischen Stoffe, die sie zusammensetzen etc.“ Am entschiedensten jedoch wird diese Ansicht von Peters auf Grund einer sehr verdienstvollen Arbeit (Landw. Versuchszt., 1860, p. 113) vertreten; von ihm wird geradezu die Schlussfolgerung ausgesprochen: „Die Absorption ist bedingt durch Flächenanziehungen, welche die Moleküle der Erde ausüben. Zu der Absorption von Basen aus Salzen ist eine chemische Umsetzung mit den Bestandteilen der Erde notwendig, welche durch die Mitwirkung der grossen, von der Erde auf die Basis ausgeübten (prädisponierenden) Anziehung ermöglicht wird.“ In ähnlicher Weise wiederholen sich nun die Schlussfolgerungen, die aus den später angestellten Arbeiten gezogen werden. Rautenberg (Chem. Centralblatt, 1863, p. 97 u. 129) legt zwar wieder etwas mehr Gewicht auf den Chemismus bei dem ganzen Vorgang, aber auch er spricht von den „mechanischen Einflüssen“. Etwas ganz Ähnliches kann auch von Heiden (Chem. Centralbl., 1865, p. 129; 1866, p. 1095; Düngerlehre I, p. 290) gesagt werden, der, trotzdem dass seine Versuche als sehr gute Belege dafür benutzt werden können, dass vorzugsweise chemische Reaktionen in Betracht kommen, sich sehr vernehmlich für die mechanische Anschauung des Vorgangs neben der chemischen ausspricht. Sachs hat in seinem öfters citierten Handbuch (vergl. namentlich p. 182) die Ansicht von der mechanischen Absorption völlig adoptiert, und auch Knop, der die einzelnen Beispiele der chemischen Bindung in seinem Lehrbuch der Agrikulturchemie sorgfältig gesammelt und durch eigene und seiner Schüler Versuche namhaft vermehrt hat, lässt derselben eine kleine Hinterthür offen und ist voll des Lobes für die Liebig'schen Schlussfolgerungen (Kreisl. d. Stoffe, I, p. 495 u. 509). Eine übersichtliche Zusammenstellung der älteren Arbeiten über Absorption findet man bei Biedermann: Landw. Versuchszt., 1869, p. 1—13). Unter allen den genannten (mit einer einzigen Ausnahme)

sondern wir werden nur die wesentlichsten Versuchsergebnisse zu dem Zwecke zu behandeln haben, den wir uns in erster Linie vorgesetzt, nämlich soweit sie uns zur Aufklärung der Ursache der Absorptionserscheinungen dienen können. Aber vor allem müssen wir auf Grund der schon vorhandenen oder der bei diesen Untersuchungen zu Tage geförderten Resultate die Liebig'schen Anschauungen einer Kritik unterwerfen. Wir müssen hier anknüpfen an die Liebig'sche Vorstellung, der zuerst den fraglichen Prozess verglich mit der Fixierung von Farbstoffen in Kohle. Man hat sich auch später wieder öfters auf die Eigenschaften der Kohle berufen, die Ammoniak in sich verdichtete, Salze und Farbstoffe (wie z. B. die Knochenkohle bei der Zuckerfabrikation) in sich niederschlägt u. s. f. Die Eigenschaften solcher Kohle scheinen vielen Experimentatoren in mehr oder weniger bestimmter Weise vorgeschwebt zu haben; denn keiner hat es ausgesprochen, dass in der mechanischen Absorption ein physikalischer Prozess neuer Art entdeckt sei, sondern jeder glaubte einen längst bekannten Vorgang nur an einem neuen Substrat vor sich zu sehen.

Man braucht nun aber nur etwas schärfer zuzusehen, um zu bemerken, dass unter dem sogenannten Absorptionsvermögen der Kohle eine ganze Reihe sehr verschiedenartiger Vorgänge verstanden wird. Vor allem muss strenge unterschieden werden zwischen den Wirkungen, welche die Kohle an sich auszuüben vermag, und den Wirkungen, die eine mit mancherlei Salzen imprägnierte Kohle geltend macht. Gewiss ist es eine allgemein bekannte Thatsache, dass eine poröse Kohle, auch wenn sie ganz arm ist an fremden Bestandteilen, *Gase in grossen Massen in sich zu verdichten* vermag. Leicht kondensierbare Gase sind, wie theoretisch vorauszusehen, auch einer solchen Verdichtung am leichtesten zugänglich, und das Ammoniakgas wird z. B. in besonders grossem Maassstabe in den Poren der Kohle verdichtet. Nach de Saussure absorbiert ein Volum Buchsbaumkohle bei 11° — 13° C. und 724 mm Barometerstand:

90 Vol. NH_3	40 Vol. N_2O	9,2 Vol. O
85 „ HCl	35 „ CO_2	7,5 „ N
65 „ SO_2	35 „ C_2H_4	1,75 „ H.
55 „ H_2S	9,4 „ CO	

Diese Eigenschaft der Kohle, welche wohl auch als Adsorption unterschieden wird, teilen viele anderen porösen festen Stoffe*) selbst im Zustande vollkommener Trockenheit (also unter Umständen, wo die Möglichkeit der Absorption durch Wasser gänzlich ausgeschlossen ist), und dieselbe kann nur als ein physikalischer Prozess aufgefasst werden, da auch sehr einfach zusammengesetzte Stoffe, deren Eigentümlichkeiten die Möglichkeit einer chemischen Wirkung ganz und gar ausschliessen, sich an dergleichen Verdichtungserscheinungen beteiligen. Auch ist eine in sich abgeschlossene Theorie über diese Vorgänge ausgearbeitet. Es handelt sich dabei in der Haupt-

deutschen Forschern ist auch nicht einer, der nicht von mechanischer oder physikalischer Absorption geredet und unter einer grösseren oder geringeren Anzahl von Einschränkungen sich für dieselbe ausgesprochen hätte.

*) Eichhorn: Jahresber. f. Agrikulturchem., 1860—61, p. 27 f.; Blumtritt und Reichardt: ebenda 1866, p. 24.

sache um die bekannte Haarröhrchenwirkung, die in sehr engen Hohlräumen grössere Werte annimmt und selbst mit der Flüchtigkeit (der festgehaltenen Flüssigkeiten) in wirksame Konkurrenz tritt*). — Diese Vorgänge**) bleiben offenbar bei der hier zu besprechenden Absorption des Bodens, welche aus wässrigen Lösungen erfolgt, völlig aus dem Spiele und dürfen nicht ohne weiteres zur Erklärung derselben herangezogen werden.

Von dieser Wirkung der Kohle ist wohl zu unterscheiden das *Fixieren von Farbstoffen und ähnlichen Körpern aus tropfbar flüssigen Lösungen*. Diese Wirkung kommt wiederum auch der reinen Kohle zu und kann in geringerem Grade auch von einer Anzahl anderer Stoffe chemisch verschiedener Natur, z. B. von Schwefel, Arsen und Eisen***), im fein verteilten Zustande ausgeübt werden. Der hierbei stattfindende Vorgang ist physikalischer Natur, da an eine chemische Wirkung in den meisten Fällen gar nicht gedacht werden kann. Die Fähigkeit, auf diese Weise durch Substanzen von sehr grosser Oberfläche niedergeschlagen zu werden, erstreckt sich aber nicht allein auf die organischen Farbstoffe, sondern auch auf riechende Substanzen zum Teil unbekannter Konstitution, auf Bitterstoffe, Harze, Gerbstoffe†) und namentlich auf Enzyme, auf eine Reihe von Salzen der schweren Metalle, wobei jedoch manchmal Reduktionen, also chemische Veränderungen vorzukommen scheinen. Sehr reine Kohle, die alle die letztgenannten Wirkungen zeigt, fixiert dagegen, wie ausdrücklich betont wird, keine Alkalisalze††). In diesen Erscheinungen haben wir es also mit einer mechanischen Absorption im eigentlichen Sinne des Wortes zu thun; aber es ist wohl im Auge zu behalten, dass sie sich hauptsächlich auf Stoffe eigentümlichen Charakters erstreckt, wahrscheinlich auf Stoffe von hohem Molekulargewicht, die ziemlich schwierig löslich sind und, wenn sie gelöst sind, leicht wieder mechanisch mit einem Niederschlage mitgenommen werden, noch schwieriger diffundierbar, und die selbst beim einfachen Filtrieren eben dieses Umstandes wegen auf dem Papiere zurückbleiben. Vielleicht, dass der braune Farbstoff der Jauche auf diese Weise durch jede feine Erde niedergeschlagen wird. Für die Absorption der eigentlichen Pflanzennährstoffe liegt hier kein Analogon.

Wir haben es schliesslich mit einer dritten jener (infolge der Anwendung einer und derselben Benennungsweise) so gründlich untereinander geworfenen Erscheinungen zu thun, infolge deren thatsächlich auch *Salze der Alkalien und alkalischen Erden niedergeschlagen werden*. Es ist dies die Wirkung der Knochenkohle†††), einer

*) Vergl. hierüber meine Abhandlung: Landw. Jahrbücher, Bd. III, p. 786; und W. Thomson: London, Edinb. und Dublin, Phil. Magaz., 1871, II, p. 448.

**) Eine theoretische, historische und experimentelle Erörterung des Gegenstandes bei v. Dobeneck: Forsch. a. d. Geb. der Agrikulturphys., 1892, p. 136.

***)) Vergl. über denselben Gegenstand vorzugsweise die Angaben Filhols' (Pharm. Centralbl., 1852, p. 211).

†) Vergl. Weppen: Annal. d. Chem. und Pharm., Bd. 55, p. 241.

††) Vergl. ebenda.

†††) Es verdient hier auch Erwähnung, dass Rousseau gezeigt hat, dass die tierische Kohle in ihrem Reinigungsvermögen für Zuckersaft bis zu einem gewissen Grade durch Gips ersetzt werden kann; vergl. Landw. Versuchszt., 1862, p. 200; über Doppelsalze von Gips mit Kalisalzen vergl. Fassbender: Ber. d. d. chem. Gesellsch., 1876, p. 1358.

Substanz, die gar nicht mehr strenggenommen als Kohle bezeichnet werden dürfte, denn sie enthält etwa 80 %, ja bis 90 %*) Asche. Bei ihr sind offenbar chemische Umsetzungen durchaus nicht ausgeschlossen, und wenn ein solcher Körper eine Reihe von Salzen in sich niederschlägt, was die reine Kohle an sich nicht thut, so ist es mindestens willkürlich, dennoch eine mechanische Absorption zur Erklärung eines solchen Vorgangs anzunehmen. Das Gleiche muss gesagt werden, wenn Peters Absorptionsversuche mit zwar durch Säure extrahierter, aber entfernt nicht aschenfreier Kohle und Kalisalzen anstellt und in gleicher Weise Schlussfolgerungen zieht. Es ist durchaus willkürlich, in diesem Falle mechanische Absorption anzunehmen, und um so willkürlicher, wenn Kalk in den abfliessenden Lösungen an Stelle des weggenommenen Kalis angetroffen wird und die Absorptionsfähigkeit der Kohle durch Imprägnieren mit kohlensaurem Kalk wesentlich gesteigert werden kann. Ganz dieselben Einwürfe sind auch Heiden**) zu machen, wenn er aus seinen Absorptionsversuchen mit rohem und mit verschiedenen Medien behandeltem Torf einen analogen Schluss macht; denn hier hatte man es nicht allein mit Substanzen zu thun, die einen Aschengehalt unbekannter Zusammensetzung enthielten, sondern mit solchen, die selbst die mannigfachsten chemischen Wirkungen ausüben.

Es ist also alles in allem genommen in dieser Richtung zu sagen, dass bei keinem andern Medium mit Zuverlässigkeit eine rein mechanische Absorption der Art konstatiert ist, wie man sie ganz allgemein und arglos für die Ackererde angenommen hat. Für Alkalien, für deren Salze und für die von alkalischen Erden ist bis jetzt niemals eine Fixierung aus einer wässrigen Lösung unter Umständen wahrgenommen worden, wo chemische Wirkungen vollständig ausgeschlossen waren***), und jedermann muss zugeben, dass damit die Theorie der mechanischen Absorption für diese Körper auf schwachen Füßen steht. — Wenn man wie gesagt dagegen die blosse Entfärbung der Mistjauche durch mechanische Absorption erklären will, so wird niemand an dieser Annahme Anstoss nehmen, da hinreichend bekannt ist, dass eine Anzahl fein verteilter Körper von der allergrössten chemischen Verschiedenheit, und für deren Mehrzahl an eine chemische Reaktion gar nicht gedacht werden kann, die gleichen entfärbenden Eigenschaften zeigt.

Dass andererseits bei der Absorption der Ackererde *nebenbei* auch chemische Erscheinungen im Spiele seien, daran hat von Anfang des Studiums derselben an niemand gezweifelt. Jeder der vielen genannten Experimentatoren hat die Thatsache konstatiert, dass bei Absorption eines Salzes, dessen Basis absorbierbar ist, dessen Säure aber nicht, ein Teil dieser letzteren an eine andere vorher der Erde angehörigen Base gebunden, in der abfliessenden Lösung nachgewiesen werden könne. Es kann sich also hier nicht darum handeln, den Chemismus bei den Absorptions-

*) Vergl. Walkhoff: „Der praktische Rübenzuckerfabrikant etc.“, 1872, 2, p. 254.

**) Vergl. Düngerlehre, I, p. 286. — Ebenso auch Schumacher, welcher merkwürdigerweise bei aus Zucker dargestellten Humussubstanzen chemische Wirkungen für ausgeschlossen hält; vergl. Annal. d. Landwirtschaft, Bd. 49, p. 322.

***). In dieser Richtung sprechen auch recht deutlich nicht in Detail veröffentlichte Versuche von mir mit Petroleumruss, der keine Alkalisalze, wohl aber Farbstoffe zu absorbieren vermochte.

erscheinungen nachzuweisen, sondern lediglich darum, zu prüfen, ob durch diesen Chemismus auch alle beobachteten Thatsachen zur Genüge erklärt werden können.

Wenn man sich freilich im voraus überlegt, was damit verlangt wird, indem man die Aufgabe stellt, alle die chemischen Vorgänge in einem so kompliziert zusammengesetzten Medium, wie es die Ackererde ist, zu erklären, so dürfte man nicht einmal verzagen an der chemischen Natur der beobachteten Vorgänge, auch wenn deren Aufklärung aus chemischen Gesichtspunkten bis zur heutigen Stunde noch nicht gelungen wäre. Um dies anschaulich zu machen, denke man sich folgende Aufgabe gestellt. Man schütte in ein Gefäss nacheinander eine Reihe von der Qualität und Quantität nach genau gekannten Reagenzien und lasse einen gewandten und kenntnisreichen Chemiker voraussagen, welcher chemische Umsatz bei der Hinzufügung eines jeden neuen Reagens eintreten wird. Zuerst wird die Aufgabe sehr leicht sein, aber schon beim dritten und vierten Zusatz wird sie sich so komplizieren, dass die Weisheit des Chemikers ihr Ende erreicht, und haben wir erst ein Gemisch beisammen, wie es alltäglich in unsern Abflusstöpfen sich bildet, so wird die Aufgabe für menschliche Kräfte ganz und gar unlösbar sein. In einer ähnlichen Lage befinden wir uns anscheinend mit allen unseren Kenntnissen der einzelnen möglichen chemischen Reaktionen einem Gemisch, wie die Ackererde eines ist, gegenüber.

Ganz so schlimm steht es aber thatsächlich nicht. Es gelingt heute mit ziemlicher Leichtigkeit, für die Festhaltung aller einzelnen gelösten salzartigen Bestandteile in der Ackererde, für die sog. Absorption jener ganzen Reihe von Stoffen, chemische Gründe geltend zu machen. Es ist dies vielleicht bei der Schwierigkeit der Aufgabe ein glücklicher Zufall zu nennen, den wir allein dem Umstande zu danken haben, dass so viele umfassende und in ihrem experimentellen Teile durchweg tüchtige Arbeiten über die in Rede stehenden Erscheinungen in kurzer Zeit angestellt worden sind.

Die folgende kurze Übersicht dürfte den heutigen Stand unserer Kenntnisse auf dem Gebiete der Absorptionserscheinungen am einfachsten und zugleich am vollständigsten ausdrücken.

1. Aus den *Salzen der Alkalien und alkalischen Erden mit starken Mineralsäuren* können die Basen unter Austausch gegen eine andere Base absorbiert werden durch *wasserhaltige Doppelsilikate*, welche in den Thon- und Lehm-böden in grösster Menge enthalten zu sein pflegen. Z. B. um zugleich einem speziellen und praktischen Falle näher zu treten: Ein thoniger Boden, in welchem ein wasserhaltiges Doppelsilikat von Thonerde und Kalk vorkommt, wird in Berührung gebracht mit Chlorkaliumlösung, so entsteht teilweise Thonerde-Kalisilikat und Calcium tritt in äquivalenten Mengen mit Chlor verbunden in Lösung. In schwächerem Grade geschieht diese Wirkung auch durch *Humate**).
2. *Karbonate und Oxydhydrate der alkalischen Erden und Alkalien* können in der Ackererde absorbiert werden durch *Humussäuren*, insofern nämlich die Humate schwerer löslich sind als jene, auch durch *hydratistische Kieselsäure*,

*) Vergl. A. König: Landw. Jahrb. 1882.

welche in sauren Ackererden zuweilen vorkommen mag. So wird z. B. kohlenaures Ammoniak, ein regelmässiger Bestandteil der Mistjauche, und Kali aus der Pottasche der Holzasche*) durch humose Erden festgehalten. Aber auch die *oben erwähnten Doppelsilikate* (ja selbst reiner Kaolin) können in derselben Richtung wirksam sein, da sie ja, zumal des doppel-sinnigen Charakters der Thonerde**) (die Salze mit Säuren und Aluminate mit Basen bildet) wegen, keine bestimmte Sättigungskapazität für Basen besitzen.

3. Von *Säuren* wird nur die *Phosphorsäure* in erheblichem Maasse, diese aber sehr vollständig sowohl aus den Salzen wie im freien Zustande absorbiert durch *kohlensauren Kalk* und noch fester und dauernder durch *Eisenoxydhydrat*. Ja, auch die mehrerwähnten Doppelsilikate können gerade wegen ihrer unbestimmten Sättigungskapazität in den meisten Fällen teilnehmen an der Phosphorsäureabsorption, und um so eher wird das möglich sein, je basischer das Silikat zur Zeit ist. Die eventuell mit der Phosphorsäure verbundene Base unterliegt hierbei der eben zuvor besprochenen Weise von Absorption.
4. In einer Ackererde, in welcher kohlenaurer Kalk vorhanden ist, verhalten sich die Salze mit starker Mineralsäure z. T. auch wie freie Basen oder wie Karbonate, da eine teilweise, aber unter Mitwirkung der Absorption fortschreitende Umsetzung der beiden genannten Körper eintritt.

Diese Folgerungen gründen sich fast ganz und gar auf Versuche mit aus der Ackererde isolierten Substanzen oder solchen, deren Existenz in der Erde für gewiss anzusehen wir berechtigt sind.***)) Charakteristisch ist auch, dass der Harnstoff nicht absorbiert wird†).

*) Wiewohl andererseits durch diese Basis auch Humussäure in Lösung geht. Vergl. Berthelot u. André: Compt. rend. 112, 1232 und Anm. **) auf folgender Seite.

**) Vielleicht auch des Eisenoxyds, das nach den schönen Untersuchungen von P. E. Müller in Kopenhagen über den Ortstein eine viel allgemeinere Rolle bei der Absorption spielt als lediglich in Bezug auf die Phosphorsäure. Vergl. dessen Studien über die natürlichen Humusformen, Berlin 1887.

***)) Vergl. noch P. Wagner: Journ. f. Landw., 1871, p. 89; Warington: Journ. of Chem. Soc., 1868; auch Reichardt (Preuss. Annal. d. Landw. Woch.-Bl., 1870, p. 50) und Beyer: ebenda 1869, Monatsbl. August—September, und Eichhorn: Landw. Jahrb., Bd. 4, 1875, p. 1. Der letztere ist auch als Verfechter der chemischen Anschauungen (a. a. O., und Landw. Jahrb., Bd. 4, 1875, p. 1) zu nennen. Ferner ist eine Arbeit A. Knop's über die Bildungsweise von Granit und Gneis: Naturw. Verein zu Karlsruhe, 10. März 1871, von Bedeutung, und namentlich die reiche Arbeit von Lemberg: Über Silikatumwandlungen, Dorpat 1877; endlich van Bemmelen (Landw. Versuchsst., Bd. 21, p. 184, u. Bd. 23, p. 295). — Für die Theorie der Absorption der humusartigen Stoffe ist die Arbeit von Alfred König (Landw. Jahrb., 1882, p. 1) von erheblichem Gewicht.

†) Kellner: Landw. Jahrb., 1885, p. 714. — Die ganz merkwürdige sog. colloïdale Bindung der Phosphorsäure durch Moorsubstanzen hat erst ganz neuerdings Aufmerksamkeit erregt (siehe Tacke: Mitt. d. Ver. z. Förder. d. Moorkult. 1894, Nr. 21), ist aber sowohl von theoretischem wie von grossem praktischen Interesse. Diese Bindung, welche fester ist wie gewöhnliche absorptive Bindung und der Pflanzenwurzel ganz ungewöhnliche

In Bezug auf die Absorption der Basen ist man also schliesslich wieder auf etwas Ähnliches zurückgekommen, was Way ursprünglich angenommen hatte. Unter anderem sind es wieder gewisse Silikate von variabler Zusammensetzung, denen man auf Grund eingehender Studien jene Rolle erteilt.

Wir finden in der Ackererde leicht zersetzbare Doppelsilikate, die neben der Thonerde noch eine oder die andere Base, eine alkalische Erde oder ein Alkali oder auch mehrere dieser Basen nebeneinander enthalten. Diese Silikate haben die Eigenschaft, unter dem Einflusse der Massenwirkung ihre accessorischen Basen (nicht die Thonerde) gegeneinander umzutauschen. Ist vorzugsweise Kalk in dem Silikat vorhanden, wie dies für unsere kalkreichen Ackererden meistens gedacht werden muss, so wirken Kali-, Magnesia- und Ammoniaksalze, in zurücktretender Weise auch Natronsalze, auf diese Verbindungen ein; und es findet nach doppelter Wahlverwandtschaft der Austausch der Basen statt. Kalk tritt alsdann, an die in der Lösung enthaltene Säure gebunden, aus dem Silikat aus und wird in der Lösung vorgefunden, während nun Kali (resp. Ammoniak, Natron oder Magnesia) an die Stelle des Kalks in das Silikat eintreten. Aus dieser Vorstellung, die wir uns von der Basenabsorption aus Salzen zu machen alle Berechtigung haben, folgt zugleich, dass nun die umgekehrte Reaktion, unbeschadet der verschieden grossen chemischen Affinitäten, erfolgen kann*), und dieselbe muss, wenn zu dem veränderten Silikat wieder eine Kalklösung gegeben wird, unfehlbar eintreten.

Daneben verdient auch noch der Chemismus, den die Humussubstanzen bei der Ammoniakabsorption ausüben, besonders hervorgehoben zu werden. Man darf sich hierbei nicht dadurch irre machen lassen, dass die huminsäuren und ulminsäuren Alkalien, wie wir früher gesehen haben, lösliche Stoffe sind und also nicht zur Erklärung der Absorptionerscheinungen benutzbar zu sein scheinen. Es ist daran zu erinnern, dass es auch schwerer lösliche Humusstoffe giebt, die gleichwohl die Rolle von Säuren spielen und namentlich, dass die Humate ähnlich wie die Silikate eine Neigung haben, schwer lösliche Doppelverbindungen zu bilden. Auch ist jene Löslichkeit, wenn andere Salze zugegen sind, keine so gar hohe**).

Hindernisse in den Weg legt, erklärt z. T. den Erfolg des Moorbrennens, ja vielleicht des Umpflügens langjährigen Wiesenlandes, weil dabei ja auch der sonst stets feuchte Boden eine stärkere Austrocknung erleidet.

*) Dies beweisen auch die Peters'schen Versuche mit grosser Klarheit, durch welche festgestellt wurde, dass in einer bereits der Kaliabsorption ausgesetzten Erde nun die Natronabsorption eine sehr viel grössere ist als vorher. Auch gehört hierhin die künstliche Umwandlung des (kalihaltigen) Leucits in (natronhaltigen) Analcim durch Chlornatriumlösung und umgekehrt durch Chlorkaliumlösung (Lemberg), und die Kellner'schen Beobachtungen, wonach Kali durch viel NH_4Cl selbst quantitativ verdrängt werden kann (Landw. Versuchsst., 33, p. 361).

**) Schwarzer Torf zeigte nach eigenen Versuchen zu Wageningen nur ein schwaches Absorptionsvermögen für Kali aus KOH ; nur etwa 10% war absorbiert aus einer Lösung von 1 Promille. Das übrige ging in schwach bräunlicher Lösung und neutralisiert hindurch. Das einige Zeit gewaschene Torfpulver reagierte nicht mehr alkalisch. Auch Berthelot: Compt. rend. 112, p. 916 weist auf die Unlöslichkeit des Kalisalzes der unlöslichen Huminsäure. Vergl. auch Compt. rend. 116, p. 666.

Sehr deutlich in Bezug auf die Theorie der Absorption spricht auch noch die schon aus dem Mitgetheilten ersichtliche Thatsache, auf welche wir in der folgenden Vorlesung zurückkommen werden, dass nur Stoffe absorbierbar sind, die mit in der Ackererde vorkommenden Substanzen schwer lösliche Verbindungen einzugehen im stande sind.

Was trotzdem bei den meisten Experimentatoren immer wieder den Gedanken eines mechanischen Prozesses hervorgerufen hat, das scheint mir die Thatsache zu sein, auf die wir in der nächsten Vorlesung wieder zurückkommen werden, dass die Menge des der Lösung entzogenen Körpers stets sich abhängig zeigte von der Konzentration und der Menge derselben. Man meinte, dass dies ein sicheres Zeichen sei für einen rein physikalischen Vorgang, da chemische Prozesse nicht abhängig zu sein pflegten von den Mengen der aufeinander reagierenden Stoffe. Allein man weiss ja, dass dieser Satz nicht allgemein richtig ist, denn sog. chemische Massenwirkungen sind zur Genüge bekannt und treten nur bei den besser studierten chemischen Erscheinungen, wo *grosse* Affinitäten ins Spiel kommen, in den Hintergrund. Aber noch verhängnisvoller ist für diese Art zu argumentieren der Umstand, dass bei der Phosphorsäureabsorption, in Bezug auf welche man die chemische Natur des Vorgangs von vornherein bereitwillig zugab, ganz dieselbe Abhängigkeit der unlöslich gemachten Säure von der Konzentration der angewendeten Salzlösung konstatiert war. So fanden Henneberg und Stohmann folgende Zahlen für Phosphorsäureabsorption aus phosphorsaurem Ammoniak je in 9 Stunden*):

	Phosphorsäure.	
	Gegebene Menge.	Absorbierte Menge.
100 gr Erde und 200 ccm Lösung	0,144 gr	0,072 gr
„ „	0,720 „	0,244 „
„ „	1,440 „	0,396 „

Dasselbe zeigen die Zahlen anderer Forscher. Es ist also nicht notwendig, über die Stichhaltigkeit des gebrauchten Argumentes ein weiteres Wort zu verlieren.

Siebente Vorlesung.

Die chemische Beschaffenheit der Ackererde. — Die Absorptionserscheinungen in ihrer Wirkung. — Drainwässer.

Wir haben in der letzten Vorlesung die hauptsächlichlichen der merkwürdigen Erscheinungen in der Ackererde kennen gelernt, welche als Absorption bezeichnet worden sind. Wir haben diese Erscheinungen auf ihre Ursächlichkeit geprüft und sind zu dem Resultate gekommen, dass chemische Prozesse vollständig ausreichen, um dieselben zu erklären.

Heute wollen wir weit wichtigere Betrachtungen an die Absorptionserscheinungen anknüpfen — Betrachtungen über deren Bedeutung für die Ackererde und für die

*) A. a. O.

Pflanzenernährung unter den natürlichen Verhältnissen. Zu dem Behufe müssen wir aber noch ein wenig näher auf das Wesen jener Erscheinungen eingehen.

Namentlich wird — dies ist leicht einzusehen — für uns von Wichtigkeit sein, eine Vorstellung von der Wechselwirkung der sogenannten absorbierten Stoffe mit dem Lösungswasser, resp. Bodenwasser, zu gewinnen. Wir wissen bereits, dass die chemischen Affinitäten, welche die Absorption bewirken, von ziemlich geringer Stärke sind, so dass die Lösungskraft des Wassers mit ihnen in eine erfolgreiche Konkurrenz zu treten im stande sein wird. — Die einschlagenden Untersuchungen haben folgende Sätze ergeben:

1. *Aus einer verdünnten Lösung wird regelmässig weniger absorbiert als aus einer konzentrierten, auch wenn beide in grossen Mengen anwesend sind*).*
2. *Die beiden absorbierten Stoffe können durch Auswaschen mit vielem Wasser teilweise wieder der Erde entzogen werden.*

Diese beiden experimentell festgestellten Sätze sind direkt herzuleiten aus dem eben geltend gemachten Gesichtspunkte, dass die ins Spiel kommenden chemischen

*) Man hat wiederholt versucht, diese experimentell feststehenden Sätze genauer zu präzisieren und die Abhängigkeit mathematisch zu formulieren. Eine Zeit lang, und so lange man meinte, es mit einem Vorgang rein physikalischer Natur zu thun zu haben, glaubte man einer solchen Gesetzmässigkeit auf der Spur zu sein, und Bödeker (Journ. f. Landw., 1859, p. 48) hat aus den von Henneberg und Stohmann gelieferten experimentellen Daten die Beziehung abgeleitet, dass *die absorbierten Mengen von Kali oder von Ammoniak sich verhielten wie die Quadratwurzeln der Konzentrationen der verabreichten Lösungen*. Es ist von vornherein klar, dass, da die Absorption steigt mit der Konzentration, aber wegen der mehr und mehr zunehmenden Sättigung der die Absorption bewirkenden chemischen Kräfte niemals proportional dieser Konzentrationssteigerung zunehmen kann, die bei der Verdoppelung der Konzentration sich ergebende Absorptionsgrösse bezogen auf die ursprüngliche zwischen 1 und 2 liegen muss, sich aber keiner dieser beiden Zahlen allzusehr nähern kann. Daraus folgt nun schon eine gewisse entfernte Übereinstimmung der experimentellen Daten mit dem „Bödeker'schen Gesetze“. Dieses Gesetz, obwohl in nahezu genügender Übereinstimmung mit den Zahlen von Henneberg und Stohmann, hat sich aber in der Folge *nicht* bestätigt. Bei Verdoppelung der Lösungskonzentration (welche beim Zutreffen des Gesetzes $= \sqrt{2} = 1,41$ sein müsste) wurden z. B. Zahlen gefunden für verschiedene Kalisalze 1,21—1,89. (Vergl. Chem. Centralbl., 1863, p. 127, und Mitt. d. landw. Centralver. f. Schlesien, H. 15, p. 83). Übrigens ergibt sich schon aus einem rein theoretischen Gesichtspunkte, dass jenes Absorptionsverhältnis für wechselnde Konzentrationen niemals durch eine konstante Zahl (wie 1,41 für die Konzentrationsverdoppelung) ausgedrückt werden kann; denn offenbar ist diese Zahl abhängig von der Konzentration, von der man ausgeht, sie ist notwendig eine Funktion der absoluten, nicht bloss der relativen Konzentration; denn wenn einmal die Konzentration sehr gross wird, so wird eine Konzentrationsvermehrung nichts Erhebliches mehr leisten können, da die Erde schon durch einen geringen Bruchteil der gelösten Substanz völlig gesättigt wird. Dies wurde später bestätigt durch Pillitz u. Kellner: Landw. Versuchsst. 33, p. 354. In gleicher Weise muss jene Zahl auch abhängig sein von der absoluten Flüssigkeitsmenge, die in beiden Fällen angewendet wird, und deren Verhältnis zur Erde, wie sich aus demselben Gesichtspunkte ergibt.

Kräfte nicht so gross sind, dass die lösenden Kräfte des Wassers vollständig gegen sie verschwinden, und aus dem gleichen Gesichtspunkte ergibt sich dann auch noch der dritte Satz, welcher lautet:

3. *Aus einer grösseren Menge Lösung wird mehr absorbiert als aus einer kleineren Menge von derselben Konzentration,*

weil bei Entzug einer gleichen Menge des absorbierbaren Körpers die in grösserer Menge vorhandene Lösung weit weniger erschöpft wird, also die lösende Kraft des Wassers, die selbstverständlich bei steigender Konzentration der Lösung eine geringere wird und die ja der Absorption entgegenwirkt, weniger auszurichten vermag.

Diese Sätze der Relativität der Absorptionsgrösse verdienen in der landwirtschaftlichen Praxis alle Beachtung. Es folgt aus denselben unter anderem auch, dass sehr verdünnte Nährstofflösungen, wie z. B. Bewässerungswässer, ihre Stoffe unter Umständen vor Absorption schützen werden, ja, im Gegenteil, mit Erde zusammengebracht, welche schon viele Stoffe im absorptiv gebundenen Zustand enthält, diese auslaugen werden, und ohne Zweifel ist dies für die Theorie der Bewässerung eine sehr beachtenswerte Folgerung, die auch schon experimentell bestätigt worden ist*). Wenn trotzdem bei den meisten Berieselungen auch selbst mit armem Wasser ein nützlicher Erfolg wahrzunehmen ist, so kommt dies daher, dass die mitgeführten Schlammeilchen in jedem Falle zurückgehalten werden und deren düngende Wirkung also jedenfalls zur Geltung kommt, oder dass gar der Effekt der Bewässerung auf der Wirkung des Wassers selber beruht, oder endlich der oxydierende Einfluss desselben auf schädliche Einflüsse des Bodens sich geltend macht.

Die Auflösungsfähigkeit einmal absorbierter Stoffe in reinem Wasser (Satz 2) ist eine ziemlich unbedeutende und eine Zeit lang nahezu proportional dem Auslaugungswasser. Dies Verhalten ist leicht verständlich, wenn wir bedenken, dass bei der Auslaugung durch reines Wasser nun nicht der umgekehrte chemische Austausch wie der, durch welchen die Absorption ursprünglich bewerkstelligt wurde, stattfinden kann (wie dies etwa nach der physikalischen Vorstellung eintreten müsste), da in reinem Wasser nicht das chemische Material, nämlich die Bestandteile der abgegossenen Absorptionsflüssigkeit, zum entgegengesetzten Umsatz vorhanden ist. Man hat es also hier z. T. noch mit einem ganz andern, unter viel ungünstigeren Umständen sich vollziehenden Prozesse zu thun. (Die annähernde Proportionalität der so in Lösung übergeführten Stoffe mit der Menge des Lösungswassers deutet auf eine einfache Lösung, vielleicht des ganzen bei der Absorption entstandenen Silikates oder auf eine gleichmässige Zersetzung dieses letzteren hin.) Aus diesem Verhalten der Erde, welche absorbierte Stoffe in sich enthält, dem Wasser gegenüber ergibt sich auch, dass man nicht von einer an absorbierten Stoffen „gesättigten“ Erde sprechen kann, obgleich dies von seiten der Anhänger der Liebig'schen Anschauungen in Bezug auf Pflanzenernährung in absorptionsfähigen Ackererden gesehen ist**).

*) Vergl. Kulturingenieur III, 1871, p. 34.

**) Vergl. Liebig: Annal. d. Chem. u. Pharm., Bd. 121, p. 340; Stohmann: Landw. Versuchsst., 1864, p. 424–428 u. a. a. O.

Was die Absorption aus gleich konzentrierten, aber in verschieden grossen Mengen vorhandenen Lösungen (Satz 3) betrifft, so setzt diese Erscheinung sich teilweise aus den beiden eben behandelten zusammen und würde sich ganz aus denselben ergeben, wenn nicht beim zweiten Satze die soeben angedeutete Komplikation von störendem Einflusse wäre. Es muss augenscheinlich die gleiche Wirkung haben, ob ich die Konzentration verdopple und dann die gleiche Menge reinen Wassers hinzugiesse, oder ob ich gleich von Anfang die doppelte Lösungsmenge, aber von gleicher Konzentration verwende. Jedenfalls folgt hieraus, dass die Absorptionssteigerung bei Verdoppelung der Flüssigkeitsmenge kleiner sein muss als bei Verdoppelung der Konzentration, denn jene unterscheidet sich von dieser nur durch die weitere Anwesenheit einer eben so grossen Menge reinen Wassers, das selbstredend eine lösende (absorptionsvermindernde) Wirkung geltend machen muss*).

Obgleich wir es nun in der Wechselwirkung zwischen Lösungswasser und den fixierenden Absorptionskräften der Ackererde mit Verhältnissen zu thun haben, die sich ihrer Kompliziertheit wegen nicht mathematisch formulieren lassen, so gewinnen wir doch durch das Studium dieser Verhältnisse einen brauchbaren Überblick über das Verhalten der löslichen Teile der Ackererde und dann später der durch Düngung neu hinzugebrachten Bestandteile derselben. Zuvor müssen wir aber unsere Begriffe noch mehr individualisieren, d. h. wir müssen auf die einzelnen Stoffe eingehen, die überhaupt Absorption erleiden können.

Abgesehen von gewissen organischen gefärbten Bestandteilen der Mistjauche und ähnlicher Flüssigkeiten organischen Ursprungs, die voraussichtlich schon durch mechanische Absorption festgehalten werden können, sind nach unsern bisherigen Erfahrungen von den Stoffen, die überhaupt für die Ackererde in Betracht kommen, alle Basen, nämlich: *Ammoniak*, *Kali*, *Natron*, *Kalk* und *Magnesia*, und von den Säuren: *Kieselsäure* und *Phosphorsäure* (wenn man will, auch *Kohlensäure*) unter Umständen der Absorption zugänglich, während für *Salzsäure*, *Schwefelsäure* und *Salpetersäure* niemals ein Unlöslichwerden in erheblichem Grade beobachtet werden konnte. Also auch unter den nicht absorbierten Stoffen befinden sich zwei wichtige Pflanzennährmittel, darunter eines, dessen Salze sich alle einer ausgezeich-

*) Henneberg und Stohmann sprechen in der That aus, dass die aus der doppelten Menge von Lösung absorbierten Kali- oder Ammoniakmengen um $\frac{1}{5}$ grösser seien als die aus der einfachen Menge, so dass nach unserer vorhin gebrauchten Ausdrucksweise die erstere Menge = 1,2 wäre. Nach dieser Angabe, mit der die Versuchsergebnisse der genannten Forscher gut stimmen, würde also die Anwesenheit der doppelt so grossen Wassermenge, wodurch sich der Versuch mit der doppelten Flüssigkeitsmenge von dem Versuche mit der doppelten Konzentration allein unterscheidet, einen sehr bedeutenden Unterschied (nach den Resultaten von H. u. St. 1,41—1,2) hinsichtlich der Absorptionsgrösse bewirken. — Allein es ist auch hier daran zu erinnern, dass diese Zahl keine konstante sein kann, indem selbstredend, wenn es sich einmal um sehr grosse Flüssigkeitsmengen handelt, der Effekt der Verdoppelung nahezu verschwinden muss, und so auch jene Zahl eine Funktion des Verhältnisses zwischen Erde und Flüssigkeit, von dem ursprünglich ausgegangen wird, sein muss. Weiter muss die Zahl auch eine Funktion der Konzentration sein, da bei sehr grosser Konzentration die Verdoppelung der Lösung unmöglich eine erhebliche Steigerung der Absorptionsgrösse bewirken kann.

neten Löslichkeit erfreuen, die Salpetersäure. Dies ist ein Punkt in mehrerlei Hinsicht in hohem Maasse der Beachtung wert. — Einmal wird hierdurch wiederum die wahre Natur der Absorptionserscheinungen in ein helles Licht gesetzt, indem Substanzen, die unfähig sind, schwerlösliche chemische Verbindungen einzugehen, der Absorption nicht zugänglich sind. — Dann lassen sich aus diesem Verhalten speziell für die Ernährung der Pflanze durch salpetersaure Verbindungen naheliegende Folgerungen ziehen.

In früheren Vorlesungen (p. 62) und auch schon im ersten Teil (Vorlesung 13) dieses Werkes wurde darauf hingewiesen, dass auf einem von Organismen noch nicht occupierten Terrain keine erhebliche Ansammlung von Stickstoffnahrung stattfinden könne, trotzdem dass ein solcher Boden durch Jahrtausende hindurch mit ammoniak- und salpetersäurehaltigen Meteorwässern begossen worden ist. Der Grund für diese Thatsache liegt nun offen da, und damit ist zum grossen Teil der Schlüssel zu dem früher geschilderten Verhalten eines rein mineralischen Bodens dem Pflanzenwachstum gegenüber gegeben. Das Ammoniak des Regenwassers ist zwar absorbierbar, trotzdem hierfür die grosse Verdünnung desselben wenig günstig ist. Allein das etwa absorbierte Ammoniak ist natürlich besonders in rein mineralischen Böden, namentlich unter Einfluss niedriger Organismen, auch von chemischen Substanzen, z. B. vorhandenem Eisenoxyd, ausserordentlich leicht oxydierbar*), und die so entstehenden salpeter- oder salpetrigsauren Salze müssen dann unfehlbar ausgewaschen werden. Zuweilen auch endet der Oxydationsprozess mit dem Entstehen von freiem Stickstoff. Von einer irgendwie erheblichen Aufspeicherung der Stickstoffnahrung kann also in regnerischen Gegenden in keinem Falle die Rede sein, hat man ja doch auch für unsere gewöhnlichen Ackerfelder die Beobachtung gemacht, dass infolge der Auswaschung von salpetersauren Salzen in der Brachzeit der Stickstoffgehalt derselben eher ab- als zunimmt**).

Unter den absorbierten Stoffen treffen wir wieder grosse Verschiedenheiten an. Die Phosphorsäure und die Kieselsäure sind so ausserordentlich fähig, unlösliche oder mindestens sehr schwerlösliche Verbindungen einzugehen, dass sie unter den Verhältnissen, wie sie für die natürliche Ackererde bestehen, nur in sehr geringen Mengen in der Bodenlösung angetroffen werden können. Mannigfaltiger ist das Verhalten der verschiedenen Basen in dieser Hinsicht, und um die Verschiedenheiten zu verstehen, welche sich hier darbieten, ist es notwendig, noch einige Worte über den Charakter derjenigen Verbindungen zu sagen, durch deren Entstehung und Umformung wir uns im wesentlichen die Erscheinung der Absorption jener vorstellen.

Die Bildung der leicht (schon durch Salzsäure) zersetzbaren wasserhaltigen Doppelsilikate, die von Mulder etwas abweichend von dem mineralogischen Sprach-

*) Knop: Versuchsst., Bd. III, p. 228, und Johnson: „Wie die Feldfrüchte sich nähren“, p. 293. Der Versuch Dumas' aus dem Jahre 1846, über mit KHO befeuchtete Kreide bei 100° NH_3 zu leiten und dieses so zu NH_3 zu oxydieren, ist dagegen von Landolt mit negativem Resultate wiederholt worden (Berliner Naturforscherversammlung, 1886, 29. Sektion).

**) Vergl. Liebig: Die Chemie u. s. w., 1862, Einleitung p. 68. Auch später durch andere Forscher bestätigt.

gebrauch schlechtweg als „Zeolithe“ bezeichnet worden sind, und deren Umformung unter dem Einflusse chemischer Massenwirkung ist es, auf die in den meisten Fällen die Basenabsorption aus Neutralsalzen mit gleichzeitigem Austritt einer äquivalenten Menge einer anderen Base zurückgeführt werden konnte. Nun wissen wir aber, dass die verschiedenen Basen, obgleich alle dieser Bildung fähig, doch in sehr verschiedenem Grade dabei ihre Affinitäten geltend machen. Way hat schon versucht, von diesem Gesichtspunkt ausgehend, eine Art Rangordnung der Basen festzusetzen, vielleicht nicht mit grossem Glück und mit nachweisbaren Inkonsequenzen, aber jedenfalls ohne den Einwurf Liebig's zu verdienen, dass bei Acceptierung dieser chemischen Anschauung und bei Aufstellung einer solchen Wahlverwandtschaftsreihe der dieser letzteren entgegenlaufende Basenaustausch eine Unmöglichkeit sei.

Wir versuchen nun nicht, eine stichhaltige Wahlverwandtschaftsreihe neu aufzustellen, sondern begnügen uns mit der Angabe, dass unter den fünf genannten Basen Natron am wenigsten Neigung zu jener Bildung zeolithartiger Doppelsilikate zeigt, während Kali und Ammoniak in dieser Hinsicht als stärkere Basen zu betrachten sind*). Wir nehmen dieses Verhalten einfach als chemische Eigentümlichkeit der aufgezählten Basen hin, ohne natürlich die Frage nach der Ursache einer solchen aufzuwerfen.

Aus dieser ganzen Darstellung ist klar ersichtlich, dass es nicht geradezu die Pflanzennährstoffe sind, welche absorbierbar sind, dass vielmehr die Nicht-Nährstoffe auch gelegentlich absorbiert werden**) und umgekehrt, obgleich man in populären Schriften die Darstellung im ersteren Sinne liebt. Diese Ausdrucksweise ist aber schon deshalb gefährlich, weil sie die Meinung an ein teleologisches Walten in der Ackererde, an eine „Polizei“ im Boden, um mit Liebig zu reden, erweckt, eine Anschauung, die sich der echten Naturforschung immer als feindlich erwiesen hat.

Namentlich ist die Thatsache eines durchgreifend verschiedenen Verhaltens zwischen Kali und Natron von Wichtigkeit und daher hier besonders hervorgehoben. Von der rein physikalischen Anschauung der Absorptionserscheinungen ausgehend, wäre ein solcher Unterschied schwer begreiflich; bei chemischen Reaktionen dagegen sind wir gewohnt, auch physikalisch einander äusserst nahestehende Substanzen verschiedene Rollen spielen zu sehen. — Durch alle Absorptionsversuche ist es in voller Übereinstimmung miteinander unzählige Male festgestellt worden, dass Kalisalze in ungleich höherem Grade absorbiert werden als die Salze des Natrons, und dies ungleichartige Verhalten steht in nahem Zusammenhange mit Erscheinungen, die aus

*) Es giebt wohl auch Arbeiten, aus welchen sich die Stärke der Absorption in Bezug auf die übrigen Basen berechnen liesse; aber die Resultate widersprechen sich untereinander, was sehr natürlich ist, da die Erscheinung abhängig ist von dem zufälligen natürlichen Gehalt der gebrauchten Erde an jedem von diesen Bestandteilen. Am lehrreichsten sind vielleicht noch die Hilgard'schen Mittelzahlen für viele Böden der „ariden“ und „humiden“ Region berechnet, woraus sich eine stärkere Auslaugung des Kalkes als der Magnesia ergibt, ein Resultat, welches durch den Gehalt der Drainwässer an diesen Bestandteilen bestätigt wird.

**) Als bestes Beispiel in dieser Richtung dient die Entdeckung Nobbe's von der starken Absorbierbarkeit des Kupfers; vergl. Landw. Versuchsst., Bd. 15, p. 273.

dem Studium der Verwitterungsprozesse sehr bekannt sind und die auch wir schon einmal mit einem Worte erwähnt haben. Wir haben bei Behandlung jener Prozesse gesehen*), dass bei der Verwitterung von Silikatgesteinen das Natron verhältnismässig rasch austritt, während das Kali dem Silikate länger erhalten bleibt. Daher mehr Kali in den Ackererden als in den Gesteinen, daraus sie sich gebildet haben, und aus derselben chemischen Ursache Rückbildung kalihaltiger Doppelsilikate bei Düngung mit kalihaltigen Düngemitteln in viel höherem Grade, als dies bei natronhaltigen Düngemitteln der Fall sein würde.

Mittelst der Kenntnisse, die wir uns in Bezug auf die Absorptionsvorgänge verschafft haben, sind wir jetzt auch im Stande, uns eine ziemlich vollständige Vorstellung von deren Wirksamkeit im Boden zu bilden, und von der Art und Weise, wie jene auf die in der Ackererde vor sich gehende Pflanzenernährung einwirken.

Erinnern wir uns, auf welche Weise die Pflanzenwurzel die in ihrer unmittelbaren Umgebung sich vorfindenden Stoffe sich aneignet. Soweit die feinsten Wurzelendigungen mit einer Bodenlösung in Berührung kommen, werden die leicht diffusiblen gelösten Stoffe nach bestimmten, früher erläuterten Gesetzmässigkeiten aufgenommen; soweit jene mit festen Bodenpartikelchen in Berührung kommen, machen lösende Kräfte des sauren Wurzelsaftes sich geltend, und die festen Teilchen können, soweit sie diesen lösenden Kräften erliegen, ebenfalls aufgenommen werden.

Infolge des Absorptionsvermögens der Ackererde sind trotz einer schon weit fortgeschrittenen Verwitterung verhältnismässig nur wenig Stoffe in der Bodenlösung vorhanden. Bei Besprechung der Wasserkulturversuche haben wir früher schon die ausserordentliche Empfindlichkeit der Pflanzenwurzel gegen Lösungen erkannt, die mehr als einige Promille gelöste Salze in sich enthalten. Diese Empfindlichkeit wird erklärlich, wenn wir die bestehenden Verhältnisse der Ackerkrume berücksichtigen, denn dort werden der Wurzel unter gewöhnlichen Umständen nur verdünnte Lösungen angeboten, und wir müssen aus unsern Vorstellungen über die zuchtwählerische Anpassungsfähigkeit von Organismen an die zufälligen äusseren Umstände schliessen, dass sich die Organisation der Pflanzenwurzeln im Laufe der Generationen nach den Verhältnissen in der natürlichen Ackererde gerichtet hat. — Aus jener Lösung schöpft nun die Pflanze, aber entsprechend der grossen Verdünnung, entgegen dem de Saussure'schen Gesetze, d. h. sie nimmt die überhaupt aufnehmbaren Stoffe in einem weit grösseren Verhältnisse auf, als diese in der Bodenlösung vorhanden sind, und erschöpft so die Bodenlösung in kurzer Zeit an denselben; namentlich wird dies**) für Kali, Salpetersäure und Ammoniak gelten***).

*) Die zweite Vorlesung dieses Bandes, p. 27.

**) Siehe Band I, Vorlesung 23.

***) Es ist schwer verständlich, wie dieser Punkt so ganz und gar bei den vielen Berechnungen, welche in Bezug auf die Frage, ob die in den Bodenlösungen enthaltenen Stoffe zu einer normalen Vegetation genügen möchten, mit Zugrundelegung der jährlichen Regenmengen oder der Verdunstungsgrössen angestellt worden sind, übersehen werden konnte, selbst wenn man berücksichtigt, dass zu der Zeit, wo sich jener Streit entspann, die Aufnahmegesetze noch sehr unvollkommen gekannt waren. Vergl. Eichhorn: Poppelsd. Zeitschr., H. I, p. 22; Wunder: Landw. Versuchsst., 1863, p. 34; Grouven: Agron.

Die so durch den Übergang von Stoffen in die Pflanze noch weiter verdünnte Bodenlösung wird nun aber ihre lösenden Kräfte auf die absorbierten, d. h. auf die in jenen lockeren und durch die ganze Feinerde verteilten Verbindungen befindlichen Stoffe geltend machen und aus diesem Reservoir, wenn auch nicht ihre alte Konzentration wiederherstellen, so doch nicht zu vernachlässigende Mengen aufnehmen, und es ist nun klar ersichtlich, wie die Wechselwirkung weiter verläuft und in welcher Weise das Absorptionsvermögen des Bodens dabei wirkt. Wäre dieselbe nicht vorhanden, so würden alle durch Verwitterung aus ihrem alten Zusammenhang gerissenen und nun löslichen Stoffe grossenteils vom Regen mit fortgespült werden, im günstigsten Falle aber in einer verhältnismässig konzentrierten Lösung im Boden vorhanden sein. Diese würde nun vielleicht für die Wurzel geradezu schädlich, jedenfalls aber bald erschöpft sein, und dann wäre die Pflanze einzig und allein angewiesen auf das durch Verwitterung neu in Lösung Übergeführte.

Infolge der Absorptionskraft des Bodens aber wird das durch die chemische Veränderung bei der Verwitterung disponibel gewordene Material festgehalten, allein ohne dass eine schädliche Konzentration der Bodenlösung eintreten könnte. Diese bleibt sehr verdünnt, aber sie bleibt lange Zeit hindurch — so lange als noch Stoffe in jener lockeren chemischen Verbindung, die wir Absorption nennen, vorhanden sind — auf einer ziemlich gleichartigen Sättigungshöhe.

Noch deutlicher ist die Wirksamkeit des geschilderten Verhaltens bei der Zufuhr von sogenannten Düngestoffen von aussen. Diese werden, soweit sie in löslicher Form in den Boden gebracht werden und soweit sie überhaupt absorbierbar sind, grossenteils in jene losen chemischen Verbindungen übergeführt werden, und die Menge der so gebundenen Stoffe wird nach den erläuterten Gesetzmässigkeiten eine um so grössere sein, je grösser die der hinzugebrachten ist. Die Bodenlösung, deren hohe, der Düngung entsprechende Konzentration für die Pflanze unfehlbar schädlich gewesen wäre, wird so eine verdünntere werden, aber lange Zeit hindurch in ihrem Gehalte beinahe konstant bleiben, da die absorbierten Stoffe nun, wenn die Bodenlösung durch die Thätigkeit der Wurzel erschöpft oder auch infolge des Hinzutretens neuer Regenmengen verdünnt ist, nach und nach diese Lösung wieder zu ergänzen streben. Wird dagegen die Bodenlösung durch Verdunstung von Feuchtigkeit aus der Ackererde allzu konzentriert, so muss nach den geschilderten Gesetzmässigkeiten selbstredend von neuem Absorption eintreten, und die Lösung wird hierdurch weniger konzentriert, als sie lediglich infolge jener Abdunstung geworden wäre.

Man kann demnach die Wirkung der Absorptionserscheinungen als eine die Bodenlösung in ihrem Gehalte an Nährstoffen, z. T. auch in ihrem gesamten

Zeit, 1858, p. 469 u. a. m. Nur Johnson (Journ. of sc. and arts, Vol. 27, July 1859, p. 81) hat diesem Umstand schon damals mit vieler Umsicht Rechnung getragen. Die streitige Frage würde sich für Eichhorn, Wundt und ihre Parteigänger weit günstiger für Liebig, Zöller und ihre Anhänger weit ungünstiger gestalten haben, wenn man die von W. Wolf aufgefundenen Aufnahmegesetzmässigkeiten herücksichtigt hätte, indem nach denselben selbstredend gerade aus den ausserordentlich verdünnten Lösungen die Nährstoffe in einer verhältnismässig sehr viel grösseren Konzentration assimiliert werden müssen.

Substanzgehalt, *regulierende* bezeichnen, und schon aus diesem einen Gesichtspunkte ergibt sich die grosse Wichtigkeit, welche die geschilderte Eigenschaft des Bodens bei dessen Funktion als Pflanzenernährer spielen muss*).

Es ist notwendig hinzuzusetzen, dass gewisse Erfahrungen in der landwirtschaftlichen Praxis die so gewonnene Anschauung vollkommen bestätigen. Wir werden nach dieser letzteren zu erwarten haben, dass Bodenarten, denen nur geringe Absorptionskräfte zur Verfügung stehen, auch alle die eben geschilderten Eigenschaften nur in zurücktretendem Grade besitzen werden, und in der That lehrt die landwirtschaftliche Praxis, dass z. B. für Sandböden, die sehr arm sind an beinahe allen jenen chemischen Verbindungen, auf welche die Absorptionsfähigkeit zurückgeführt werden kann, keine zu starken Düngungen empfohlen werden, sondern dass dort öftere, aber kleinere Düngungen am Platze erscheinen, während für schwerere Böden das Umgekehrte empfohlen wird. Auf Sandböden nimmt man leichter ein sogenanntes „Verbrennen“ irgendeiner Saat oder einer Pflanzung nach einer reichlichen Düngung wahr, eine Schädigung des Pflanzenwachstums, die auf die zu hohe Konzentration der Bodenlösungen zurückgeführt werden muss. Aus genau demselben Gesichtspunkte erklärt sich der bekannte Erfahrungssatz, dass auf leichten Böden Düngungen, vor der winterlichen nassen Periode gegeben, eine verhältnismässig geringe Wirkung zeigen — Dinge, die ohne weitere Erläuterung auf das Fehlen oder Vorhandensein der Absorptionskräfte zurückzuführen sind und aufs schlagendste deren Bedeutsamkeit für die Ernährung der Pflanze unter natürlichen Verhältnissen demonstrieren.

Das Vorhingesagte gilt für die Pflanzennährstoffe: Kali, Kalk, Magnesia, Ammoniak, die wir regelmässig in der Bodenlösung einer fruchtbaren Ackererde anzu-

*) Etwas von dieser Art der Wirksamkeit der Absorptionskraft ist schon merkwürdigerweise von Davy, dessen Buch über Agrikulturchemie in der deutschen Übersetzung im Jahre 1814 erschien, erkannt worden, obgleich man nicht sagen kann, dass dieser grosse Forscher schon der Entdecker der Absorptionskräfte des Bodens gewesen sei. P. 211 seiner „Elemente der Agrikulturchemie“ heisst es: „Der Extrakt aus den sich zersetzenden vegetabilischen Substanzen bildet, wenn er mit Pfeifenthon gekocht wird, eine chemische Zusammensetzung, durch welche die vegetabilische Substanz schwerer auflöslich und zersetzbar wird. Reine Kieselerde und Kieselsand haben wenig Wirkung hierauf, und *derjenige Boden, welcher die meiste Alaunerde und kohlensaure Kalkerde enthält, ist der, welcher die grösste chemische Energie in Erhaltung des Düngers zeigt.* Ein solches Erdreich verdient ein reiches genannt zu werden; denn die vegetabilische Nahrung wird lange Zeit in einem solchen erhalten, so dass sie von den Organen der Pflanze aufgenommen werden kann. Kieselsand im Gegenteil verdient den Beinamen eines armen Bodens, den man ihm gewöhnlich zu erteilen pflegt; denn die vegetabilischen und animalischen Substanzen, welche in einem solchen Erdreiche enthalten sind, *werden von den erdigen Bestandteilen nicht angezogen* und sind daher mehr geeignet, durch die Wirkung der Atmosphäre zersetzt oder durch das Wasser fortgeführt zu werden.“ Und ebendasselbst die Anmerkung A. Thaer's: „Das ist eine auch in der Praxis des Ackerbaus längst gemachte Bemerkung. Der Thon hält die fruchtbaren, die eigentlichen Nahrungsteile der Pflanzen zurück; *darum wird er nicht leicht völlig daran erschöpft.* Ist er aber einmal daran verarmt, oder wird er unbefruchtet aus tieferen Lagen heraufgebracht, *so erfordert er eine grössere Menge von Dünger, um in Fruchtbarkeit gesetzt zu werden, als der sandige Boden. Daher auch die allgemeine Regel, Thonboden stark und selten, Sandboden schwach, aber oft zu düngen.*“

nehmen haben; es gilt auch für die Phosphorsäure, insofern dieselbe aus einem verwitterten und löslich gewordenen Mineral oder aus einer gegebenen Düngung sehr vollständig absorbiert wird. Freilich ist gerade die chemische Bindung der Phosphorsäure in den meisten Ackererden, selbst in Sandböden, so vollständig, dass sehr häufig nichts von ihr in der Bodenlösung nachgewiesen werden kann. In solchen Fällen muss dann die Aufnahme durch die lösende Kraft der Wurzeln selbstredend als die vorzügliche Quelle dieser Stoffe angesehen werden, wie sich dieselbe denn auch zweifelsohne bei der Aufnahme anderer ungelösten Stoffe geltend macht.

Es ist eine sehr eigentümliche Erscheinung in der geschichtlichen Entwicklung unserer Vorstellungen von der Ernährung der Pflanze in der Ackererde, dass man lange Zeit hindurch geglaubt hat, prinzipiell sich entscheiden zu müssen, entweder *ausschliesslich* für die Aufnahme der Pflanzennährstoffe aus der Ackererde in schon vorher gelöster Form, oder *ausschliesslich* durch Selbstthätigkeit der Pflanzenwurzel aus dem sogenannten absorptiv gebundenen Zustand. Der ganze Verlauf des Streits, der sich an diese ungerechtfertigte Alternative anknüpft, bietet indessen so wenig objektives Interesse, dass wir in die Darstellung desselben nicht weiter eintreten*).

*) Liebig hatte nach seiner ersten Bearbeitung der Absorptionserscheinungen, ausser der teilweise neuen Erklärung derselben, von der wir in der letzten Vorlesung gehandelt haben, auch eine Theorie der Pflanzenernährung ausgesprochen. Diese Theorie, die jedoch aus guten Gründen sehr allgemeinen Widerspruch erregte (vergl. Landw. Ber. v. Babo, 1858, p. 1—13; E. Wolff: Mitteilungen a. Hohenheim, H. 4, p. 66; Grouven: Agron. Zeit., 1858, p. 469; Schumacher: Landw. Versuchszt., 1862, p. 270) und nur einige leidenschaftliche Verteidiger fand, sagte aus, „dass die grösste Anzahl der Kulturpflanzen darauf angewiesen ist, ihre mineralische Nahrung direkt von der Ackerkrume zu empfangen, und dass ihr Bestehen gefährdet wird, dass sie verkümmern und absterben, wenn ihnen diese Bestandteile in Lösung zugeführt werden“ (vergl. Annal. für Chem. und Pharm., Bd. 105, p. 139); und gerade vorher wird ausgesprochen: „Empfingen die Landpflanzen ihre Nahrung aus einer Lösung, so würden sie von dieser Lösung der Zeit nach und im Verhältnis nur so viel aufnehmen können, als Wasser durch ihre Blätter verdunstet u. s. w.“, was, wie wir wissen, eine falsche Voraussetzung ist. — Die Theorie führt alsdann weiter aus, dass die Landpflanzen sich auf Kosten der absorptiv gebundenen Nährstoffe, die in unmittelbare Berührung mit den feinsten Wurzelfasern kommen, ernähren, und es werden so im wesentlichen die Vorteile übersehen, welche die Absorptionserscheinungen auch für die Annahme der Pflanzenernährung aus der Bodenlösung notwendig bieten müssen. — Zöller (vergl. Landw. Versuchszt., 1863, p. 40; 1864, p. 45) und Fraas (Ergebnisse landw. Versuche u. s. w. des bayr. landw. Vereins, 24, p. 60) haben dann diese Anschauung, gestützt auf Versuche, die aus im Texte (p. 100) schon enthaltenen Gründen nichts in der gewünschten Richtung zu entscheiden vermögen, Jahre hindurch eifrig vertreten. — Allen diesen Anschauungen gegenüber genügt die einfache Bemerkung, dass die Fähigkeit der Pflanzenwurzel, aus Lösungen zu schöpfen, durch eine grosse Anzahl von Wasser- und Sandkulturversuchen in unzweifelhafter Weise dargethan ist, dass aber ebenso sicher feststeht, dass die Wurzel auch feste Körper, die in verdünnten Säuren löslich sind, aufzunehmen befähigt ist, wenn sie mit denselben in unmittelbare Berührung kommt. Es kann also nicht der geringste Grund vorliegen, daran zu zweifeln, dass die Pflanzenwurzel, da das Vorhandensein von Lösungen sowohl wie von solchen leichtlöslichen festen Körpern im Boden feststeht, beide Fähigkeiten in der Ackererde thatsächlich geltend macht. Die Frage kann also nicht lauten: *ob?*, sondern: *wie viel?* auf die eine oder die andere Weise.

Anders als mit den eben genannten ist es mit den noch übrigen Pflanzennährstoffen, mit der Schwefelsäure und der Salpetersäure. Für diese Stoffe konnte in keiner ihrer Verbindungen eine erhebliche Absorption nachgewiesen werden. Bei der Salpetersäure war dieses Verhalten leicht begreiflich, da dieselbe keine unlöslichen Verbindungen bildet; bei der Schwefelsäure muss es daraus erklärt werden, dass eben in der natürlichen Ackererde keine Gelegenheit ist zur Bildung unlöslicher schwefelsauren Salze, obwohl sie mit dem einen oder dem andern der in der Ackererde vorkommenden Stoffe, wie z. B. mit dem Eisenoxyd, schwerlösliche basische Salze zu bilden im Stande ist.

Für die Schwefelsäure, die nur äusserst selten, wie es scheint, unter den pflanzlichen Nährstoffen ins Minimum gerät, hat diese Eigentümlichkeit keine weiteren praktischen Folgen, wohl aber für die Salpetersäure, und es ergeben sich daraus manche wichtigen Düngungsregeln, die einmal für die Düngung von salpetersauren Salzen ungefähr das aussagen, was beim Sandboden überhaupt für jeden Düngstoff als Regel gilt, nämlich nicht vor einer regnerischen Jahreszeit, wo viel Wasser den Boden durchströmt und auslaugt, zu düngen, also z. B. keine Herbsdüngungen vorzunehmen. Eine Herbsdüngung mit Chilisalpeter ist darum immer gewagt und für im Winter unter Wasser stehende Äcker geradezu weggeworfenes Geld wegen der mangelnden Absorbierbarkeit der salpetersauren Salze.

Ähnliche praktischen Regeln ergeben sich dann trotz der hohen Absorbierbarkeit des Ammoniaks für alle Stickstoffdüngungen, wenn, wie in fast allen guten Ackererden, unter dem Einflusse von niedrigen Organismen*) daselbst Gelegenheit zum Übergang des Stickstoffs der organischen Verbindungen und des Ammoniaks in Salpetersäure gegeben ist. Die eigentliche Wirkungsweise dieser Nitromonaden, wie man sie später genannt hat, wird bald noch besonders zu besprechen sein. — Doch muss ich hier schon mit einem Worte darauf hindeuten, wie trotz dieser Nichtabsorbierbarkeit des allerwichtigsten stickstoffhaltigen Pflanzennährmittels die Absorptionskräfte des Bodens unter natürlichen Verhältnissen doch auch für die Stickstoffernährung für die Pflanze in der nitrifizierenden Ackererde ihre Dienste thun. Es muss nämlich im Auge behalten werden, dass naturgemäss der Stickstoff der Ackererde in überwiegender Menge in Form von zur Zeit unlöslichen organischen Substanzen vorhanden sein wird, da nur sehr geringe Mengen von Salpetersäure durch das Regenwasser in den Boden gelangen. In dem Maasse nun, als diese Stoffe durch Verwesung und Oxydation in Ammoniak und dann in Salpetersäure übergehen, kann diese letztere, da ihre Salze sehr rasch und vollständig von der Pflanze aufgenommen werden, zur Assimilation gelangen, und so braucht der entstehende Verlust (bei der Absorbierbarkeit des intermediären Gliedes) nicht so bedeutend zu sein, als man auf den ersten Blick glauben sollte. Freilich enthalten die in nasser Jahreszeit an der Sohle der Ackerkrume austretenden Wässer, die sogenannten Drainwässer, fast regelmässig geringe Mengen von Salpetersäure. Man erkennt aber immerhin, dass unter den gewöhnlichen Verhältnissen, wo die Zer-

*) Vergl. Schützenberger u. Müntz: Compt. rend., 1877, T. 84, 85; und später noch viele Veröffentlichungen über den gleichen Gegenstand von Warington u. a. Siehe auch 10. Vorlesung.

setzungsprodukte verwesender organischen Substanzen die Pflanze der Hauptsache nach hinsichtlich ihres Stickstoffbedarfs ernähren, der Mangel der Absorbierbarkeit der Salpetersäure nicht so viel zu sagen hat. Anders ist es freilich in der Brache bei einem künstlichen Aufbringen salpetersaurer Salze in grossen Quantitäten. Hier wird ein Verlust kaum zu vermeiden sein, und es ist, wie gesagt, die Aufgabe einer rationellen Düngung, denselben möglichst einzuschränken*).

Trotz der Nichtabsorbierbarkeit der als Nährstoff so wichtigen Salpetersäure ist darum im grossen und ganzen doch die nützliche Wirksamkeit der Absorptionskräfte der Ackererde klar erkenntlich. Infolge derselben werden für weitaus die meisten Pflanzennährstoffe und einige anderen löslichen Substanzen der Ackererde, die nicht als solche bezeichnet werden können, die Konzentrationen der Bodenlösungen gemässigt und lange Zeit hindurch auf einer nahezu gleichen Höhe erhalten, obgleich durch die Momente der Stoffaufnahme einerseits, durch die des neu aus atmosphärischen Niederschlägen hinzutretenden Wassers andererseits das Bestreben einer Konzentrationsänderung fort und fort besteht. Die Absorptionskraft kann in dieser Hinsicht, wie gesagt, als *eine die Bodenlösungen wirksam regulierende* bezeichnet werden.

In zweiter Linie ist daneben deren Wirksamkeit, als *die nützlichen Bodenbestandteile zurückhaltend*, zu unterscheiden. Diesen Punkt müssen wir noch eingehender beleuchten, als es schon gelegentlich in dem Vorhergehenden geschehen ist. Wir dürfen, um in dieser Hinsicht eine gute Vorstellung zu erlangen, nicht bei der Meinung stehen bleiben, dass, wenn z. B. lösliche absorbierbare Düngestoffe einer Ackererde einverleibt worden sind und nun diese letztere beregnet wird, sich eine Lösung von einer bestimmten Konzentration bildet, diese nach den Gesetzen der Absorption eines Teils ihrer gelösten Stoffe beraubt wird, und nun die restierende Lösung einfach und unverändert durch die tieferen Bodenschichten abfließt und in einer gewissen Tiefe als Drainwasser auftritt; sondern wir müssen immer im Auge behalten, dass die tiefer und tiefer in den Boden eindringende Lösung sich an jedem Orte mit den sie umgebenden Bodenteilchen nach eben denselben Absorptionsgesetzen ins Gleichgewicht setzt und so mehr und mehr der noch übrigen absorbierbaren Stoffe beraubt wird. Wir haben so, wenn der Dünger oben aufgegeben wird (oder statt des Düngers kann man sich selbstredend auch einen ohne Zuthun der Menschen in die Erde gelangten verwesenden organischen Körper denken) und das Wasser von oben nach unten sickert, in den verschiedenen Höhen der Ackererde sehr verschiedene Mengen durch Absorption festgehaltener Stoffe und sehr verschiedene Konzentrationen der Bodenlösung anzunehmen. Oben werden unter den gegebenen Verhältnissen konzentrierte Bodenlösungen und grosse Mengen von fixierten Stoffen, unten stufenweise (nach den Regeln der Differentialrechnung) verdünntere Lösungen und geringere Mengen jener Stoffe zu erwarten sein**), und der Versuch lehrt, dass

*) Ein ähnliches Verhalten wird auch für die Schwefelsäure vorausgesetzt werden können, seitdem man erkannt hat, dass ein grosser Teil des Schwefels des Ackerbodens zeitweise in der Form von freilich noch weniger genau umschriebenen organischen Stoffen vorkommt.

**) Es ist Schumacher's Verdienst, zuerst mit Klarheit diese Konsequenzen gezogen zu haben (vergl. Landw. Versuchsst., 1862, p. 287).

dem wirklich so ist. Wir werden im allgemeinen keinen Schluss machen dürfen aus der Konzentration dieser Lösungen an einem Orte, z. B. der Drainwässer*), auf die weiter oben vorhandenen Lösungen u. s. f. Nur sehr langdauernder Regen und kapillare Wasserbewegung, welche letztere eine bedeutende Rolle in der Ackererde spielt, werden nach und nach einen ungefähren Ausgleich bewirken können.

Nun lehren Thatsachen, dass in der natürlichen Ackererde unter gewöhnlichen Umständen die Absorptionskräfte so kräftig wirken, dass nur langsam eine solche Ausgleichung erfolgt. Es ist hier namentlich an die interessanten Lokalisierungsversuche der Nährstoffe zu erinnern, die mehr oder minder deutlich zeigen**), dass Düngestoffe, die ganz bestimmten Zonen des Bodens einverleibt werden, dort lange Zeit, ganze Vegetationsperioden hindurch unverrückt verbleiben, wie an der dort üppig sich entfaltenden Wurzelverzweigung beobachtet werden kann. So zeigt auch die obere Erdschicht unserer bebauten Grundstücke, die sogenannte eigentliche Ackerkrume, auch wenn seit lange keine Düngung mehr erfolgt ist, einen grösseren Reichtum an für das Pflanzenwachstum verfügbaren Nährstoffen als die tieferen Schichten, der sogenannte Untergrund***). Diese Thatsache lässt sich freilich auch teilweise aus einem andern Gesichtspunkt erklären, auf den mit Recht wiederholt aufmerksam gemacht worden ist†). Die kapillare Flüssigkeitsbewegung in den Hohlräumen der Ackererde wirkt zwar innerhalb der Ackererde im allgemeinen in Bezug auf die Menge absorbierbarer und absorbierter Stoffe konzentrationsausgleichend; allein wenn hierzu die Verdunstung an der Oberfläche der Ackererde tritt, so ist daselbst ein Moment für die Ansammlung solcher Stoffe gegeben, das, wie Versuche lehren, sehr wirksam sein kann. Offenbar unterstützt dieser Vorgang, der immerhin *einen Teil*††) der von oben nach unten verschwemmten Stoffe wieder nach oben

*) Nur das vollständige Übersehen dieser Verhältnisse hat den Irrtum ermöglicht, als ob die in einer gewissen Tiefe aus der Ackererde abfliessenden Lösungen, Drainwässer, Lysimeterwässer und dergl., ein Bild verschaffen könnten von der Konzentration der Nährstofflösungen in der Umgebung der Pflanzenwurzeln. Diese ganze Anschauung, die von Liebig, Fraas und Zöller besonders vertreten ward, und alle Folgerungen aus derselben lassen sich durch diesen einen Hinweis widerlegen und noch ganz besonders entkräften durch Erinnerung an die Thatsache, dass überhaupt nur Drainwässer fliessen, Lysimeterwässer sich ansammeln, wenn viel Regen fällt, also zu einer Zeit, wo die Bodenlösungen, namentlich da sie nicht genügende Zeit haben, sich mit den Absorptionskräften ins Gleichgewicht zu setzen, sehr verdünnt sind (vergl. hierüber Schumacher: Landw. Versuchsst., 1862, p. 270 und bes. 280).

**) Vergl. Nobbe: Landw. Versuchsst., 1864, p. 334, und 1868, p. 94; Zöller: ebenda 1864, p. 261, u. Stohmann: Journ. f. Landw., 1867/68, Jahresber. p. 79.

***) Als guter Beleg für die gleiche Thatsache können auch die Versuche H. v. Liebig's gelten (vergl. Jahresber. f. Agrik.-Chem., 1866, p. 290).

†) Vergl. Polacci: Journ. d'agricult. pratique, 1862, Nr. 5, u. Nessler: Bad. landw. Korrespondenzbl., 1860, p. 230 u. a. a. O.

††) Für manche Verhältnisse vielleicht auch mehr als einen Teil, denn die Wanderung löslicher Stoffe von unten nach oben kann offenbar die von oben nach unten überwiegen, obschon mehr Wasser den ersteren Weg geht, — einfach, weil dieses bei dem Weg nach unten keine Zeit hat, sich so vollständig zu sättigen, als bei der langsam erfolgenden

zurückbringt, die Lokalisation derselben in der eigentlichen Ackerkrume und wirkt so dem Ausgleich in dieser einen Richtung entgegen.

Aus alledem erhellt indes zur Genüge die in zweiter Linie hervorgehobene Wirksamkeit der Absorptionskräfte, die wir als eine, gewisse *nützliche Bodenbestandteile zurückhaltende, vor Auswaschung schützende* bezeichnet haben. Es ist dies die Wirksamkeit, welche als die handgreiflichste von allen am frühesten begriffen und hervorgehoben worden ist, und in Bezug auf welche auch zur Zeit des grimmigsten Streites über die Ursache jener Kräfte und über die Art der Stoffaufnahme durch die Wurzel niemals eine Meinungsverschiedenheit sich geltend gemacht hat. Die Anhänger der Liebig'schen Anschauungen haben z. B. gerade auf diesen Gesichtspunkt das grösste Gewicht gelegt*).

In dritter Linie wäre dann noch etwa, ebenfalls in Übereinstimmung mit den Liebig'schen Ansichten, die Wirksamkeit der Absorptionskräfte insofern zu unterscheiden, als durch dieselben *eine Anzahl von wichtigen Nährstoffen in ungelöster, aber mechanisch und chemisch ausserordentlich zugänglicher Form* (sehr fein verteilt und durch die Wurzel leicht in Lösung überzuführen) *zurückgehalten werden* und für die Wurzel zur Verfügung stehen. Es ist, wie schon früher gesagt, die dieser Wirksamkeit zu Grunde liegende Aufnahmetheorie durchaus nicht im Widerspruch mit der andern; und beide sind notwendige Folgen sicher festgestellter Erfahrungen. Es erscheint namentlich in einzelnen Fällen, wo die wässrigen Auszüge von Ackererden einen sehr geringen Gehalt an manchen wichtigen Nährstoffen, z. B. der Phosphorsäure, zeigen, unumgänglich notwendig, sich die Aufnahme teilweise durch unmittelbare Wurzelthätigkeit zu denken, und auch in diesem Falle sind die Absorptionskräfte jedenfalls von ausserordentlichem Werte.

kapillaren Wassersteigung. Die im Texte berührte kapillare Wanderung der Nährsalze nach oben geht für verschiedene Salze mit verschiedener Raschheit von staten und zwar bei Salzen von kleinem Molekül im allgemeinen am schnellsten. Vergl. Band I, Vorl. 20, Anm. auf S. 315.

*) Aus der ganzen Darstellung dieses Gegenstandes ist wohl ausserdem ersichtlich, dass man trotz jener Möglichkeit, absorbierbare Körper zu lokalisieren, nicht in dem Sinne, wie dies Zöller und Nägeli (Ann. d. Chem. u. Pharm., Bd. 121, p. 339) und auch Stohmann (Landw. Versuchsst., 1864, p. 424) thaten, von Vegetationsversuchen mit Nährstoffen im rein absorbierten Zustande sprechen kann (worauf wir schon früher hingewiesen haben), wenn man auch den benützten Torf mit grossen Mengen von Wasser auswäscht. Dass die absorbierten Nährstoffe nicht durch die angewandten Mengen von Waschwasser aufgelöst werden konnten, beweist doch nur, dass ein Teil derselben in einen sehr schwer löslichen Zustand übergegangen war, und wenn man selbst die Konzentration der nach dieser Operation noch zirkulierenden Nährstofflösungen als verschwindend betrachten will, so können doch offenbar durch Kohlensäurebildung im Torf und dergleichen Prozesse während des Vegetationsversuchs wieder Lösungen gebildet werden. Am meisten trifft dieser Einwurf die Versuche der beiden ersteren, welche ihren Torf bis zur Sättigung des Absorptionsvermögens mit Nährstoffen zu versehen vorgaben — als wenn diese eine konstante Grösse wäre — und jedenfalls Nährstofflösungen von erheblicher Konzentration ihren Pflanzen verabreichten. Die Stohmann'schen Versuche vermögen dagegen vielleicht zu zeigen, dass auch verhältnismässig grosse Nährstoffmengen durch direkte Wurzelthätigkeit assimiliert werden können.

Man denke sich in der Ackererde unverwitterte Apatitkryställchen in solcher Menge und in solcher Entfernung voneinander liegen, dass die Gesamtmenge der in ihnen enthaltenen Phosphorsäure der Vegetation, mit der die Erde bedeckt ist, zwar weitaus genüge, allein dass der Angriffspunkte viel zu wenige sind, um durch direkte Wurzelthätigkeit die Aufnahme einer genügenden Menge zu gestatten, so wird der Pflanzenwuchs unter dem Mangel an Phosphorsäure leiden. Wenn aber nun Umstände hinzutreten, die eine vorübergehende Lösung dieser Kryställchen in der Weise bewirken, dass die gelösten phosphorsauren Salze in Berührung mit dem feinverteilten Eisenoxydhydrat, kohlsauern Kalk etc. wieder durch Eingehen neuer Verbindungen in ungelöster Form abgeschieden werden, so wird, wenn diese Vorgänge eine gewisse Zeit hindurch stattgefunden haben, die nun sich entwickelnde Pflanzenwelt, wenn auch jetzt nicht mehr Phosphorsäure in Lösung vorhanden ist, unter weit günstigeren Bedingungen sich befinden wie vorher, da die Verteilung und die Angriffsfläche eine viel grössere geworden und infolgedessen jedes einzelne Wurzelteilchen eine viel grössere Aussicht hat, mit phosphorsauren Salzen in Berührung zu kommen.

Genau dieselbe Vorstellung wird man sich auch z. B. von der Wirksamkeit der Superphosphatdüngungen machen müssen, da die weitaus grösste Menge der so in die Ackererde gebrachten löslichen Phosphorsäure sofort wieder in den unlöslichen Zustand*) übergeht. Wenn trotzdem die so hinzugebrachte Phosphorsäure thatsächlich gegenüber der vielleicht viele hundert Mal so grossen Menge schon vorhandener Phosphorsäure etwas zu leisten vermag, so kann dies grossenteils auf die eben ange-deutete Weise erklärt werden. Und dies ist im Gegensatze zu der vorhergehenden mehr theoretischen Erörterung ein Fall von sehr erheblicher praktischer Bedeutung.

Auf diese drei von uns unterschiedenen Gesichtspunkte muss nach dem dermaligen Stande unseres Wissens die Wirksamkeit der Absorption in der Ackererde zurückgeführt werden.

Aus der gegebenen Darstellung vom Wesen und von der Wirksamkeit der Absorptionsvorgänge ist ausserdem noch klar ersichtlich, dass wir kein Mittel besitzen, Bodenlösungen aus Böden von dem Feuchtigkeitsstande einer gewöhnlichen Ackererde zu gewinnen und hinsichtlich ihrer Konzentration zu untersuchen, und dass, wo man dergleichen Untersuchungen ins Werk zu setzen vorgab oder wo man sich in dieser Hinsicht von dem ermittelten Gehalt der Lysimeterwässer**) an Nährstoffen einen Rückschluss erlaubte, dies immer mit Versündigung gegen den von uns erkannten Satz der Relativität von Bodenlösungsmengen und Konzentrationen einerseits und der Absorptionsgrössen andererseits geschehen ist. Wir würden höchstens im stande sein, bei einer genaueren Kenntnis vom Chemismus der Absorptionerscheinungen aus dem Gehalt der wässrigen Extrakte die Konzentrationen

*) Ganz und gar unlöslich wird übrigens selbst die Phosphorsäure, sonst der unlöslichste und schwerst mobile unter allen Nährstoffen, in den eigentlich fruchtbaren Bodenschichten nicht. Dies lehren u. a. die interessanten Versuche Petermann's über die Dialyse der Ackererde, welche nach ihm eine neue Methode der Bodenanalyse vorbereiten sollen. Vergl. *Recherches sur la dialyse*, Bruxelles 1882.

**) Lysimeter sind Kästen, die in einer gewissen Tiefe im Boden eingegraben werden und worin man die aus diesem abfliessende Flüssigkeit zum Zweck von Untersuchungen sammelt.

der wirklich bestehenden Bodenlösungen annähernd zu berechnen, und können auch jetzt schon den Schluss machen, dass unter allen Umständen Böden, welche verhältnismässig gehaltreiche Extrakte, Drain- und Lysimeterwässer geben, *ceteris paribus* auch gehaltreiche Bodenlösungen enthalten müssen. Von diesem Gesichtspunkt aus haben die Drainwässer in ihrer Zusammensetzung ein gewisses Interesse für die Beurteilung der temporären Fruchtbarkeit eines Bodens, wenn auch der hohe Substanzgehalt der Drainwässer zu gewissen Perioden (kurz nach der Vornahme einer Düngung) ebenso sehr auf den Mangel eines ausreichenden Absorptionsvermögens schliessen lässt und daher dieser Umstand behufs einer derartigen Schlussfolgerung zuerst bekannt sein muss.

Die Mitteilung der Resultate wenigstens einiger Drainwasseranalysen wird daher völlig am Platze erscheinen.

Kroker analysierte einige Drainwässer aus der Umgegend von Proskau und fand in 1000 Teilen Wasser folgende Teile von gelösten Bestandteilen*):

	1	2	3	4
Org. Substanz	0,025	0,025	0,016	0,006
Kohlens. Kalk	0,084	0,084	0,127	0,079
Schwefels. Kalk	0,208	0,210	0,114	0,017
Salpeters. Kalk	0,002	0,002	0,001	0,002
Kohlens. Magnesia	0,070	0,069	0,047	0,027
Kohlens. Eisenoxydul	0,004	0,004	0,004	0,002
Kali	0,002	0,002	0,002	0,002
Natron	0,011	0,015	0,013	0,010
Chlornatrium	0,008	0,008	0,007	0,003
Kieselsäure	0,007	0,007	0,006	0,005
Summe:	0,421	0,425	0,337	0,153

1 und 2 ist Drainwasser eines thonigen Bodens mit kalkhaltigem Untergrund, zu verschiedenen Zeiten gesammelt, 3 ein Drainwasser von demselben Boden, gemischt mit dem eines humosen Thonbodens, 4 von einem anderen Boden mit kalkhaltigem Untergrund.

Way hat in einer Reihe von Drainwässern folgende Bestandteile gefunden**), die Zahlen bezogen auf 1000 Teile:

Kali	Spur	Spur	0,0003	0,0007	Spur	0,003	Spur
Natron	0,014	0,031	0,032	0,012	0,021	0,020	0,046
Kalk	0,069	0,103	0,086	0,032	0,036	0,083	0,186
Magnesia	0,010	0,033	0,035	0,006	0,003	0,013	0,036
Eisenoxyd u. Thonerde	0,006	0,001	0,001	—	0,019	0,005	0,007
Kieselsäure	0,014	0,006	0,008	0,017	0,026	0,009	0,012
Chlor	0,010	0,016	0,018	0,012	0,018	0,017	0,037
Schwefelsäure	0,025	0,074	0,063	0,024	0,018	0,045	0,138
Phosphorsäure	Spur	0,002	Spur	Spur	0,001	0,001	0,002
Ammoniak	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0003	0,0003	0,0003

*) Vergl. Jahresber. d. Chem., 1853, p. 742.

**) Aus den Mittheilungen Knop's (Kreislauf des Stoffs, II, p. 136) umgerechnet. Auf einen etwaigen Gehalt an Salpetersäure ist in diesen Analysen keine Rücksicht genommen.

Diese und andere Analysen*) zeigen aufs deutlichste die sehr grosse Verdünnung der unten vom Boden abfliessenden Wässer. Nur ganz vereinzelte Angaben liegen vor, nach welchen die Gesamtheit der gelösten Stoffe grösser wie ein Tausendstel gewesen wäre, und gerade die wichtigsten Nährstoffe finden sich häufig in ganz untergeordneter Menge vor, selbst wenn die Wässer von Böden, die sich in gutem Düngungszustande befinden, stammen.

Als solche würden diese Drainwässer, deren Konstitution übrigens durch spätere Versuche in jeder Beziehung sehr abhängig gefunden wurde von der An- oder Abwesenheit von Pflanzen auf dem drainierten Boden**), meistens äusserst ärmliche Nährstofflösungen vorstellen. Allein man kann doch aus ihrem Gehalt einigermaassen ersehen, dass weiter oben im Boden Lösungen von genügender Konzentration vorhanden sein können, oder wie sich solche in trocknen Perioden voraussichtlich bilden werden.

Es ist wohl natürlich, dass man nach der Entdeckung und gründlichen Bearbeitung der Absorptionserscheinungen sich die Frage stellte, ob mit Hinzuziehung dieser Eigentümlichkeiten der Ackererde, durch die experimentelle Bestimmung von deren Intensität vielleicht, ein Urteil über die Fruchtbarkeit eines Bodens abgegeben werden könnte. Schon Liebig hat diesen Gedanken ausgesprochen, und derselbe ist bis in die neueste Zeit wieder und wieder aufgetaucht***).

Diese Frage, die einfach deshalb, weil wir es in den Absorptionskräften des Bodens mit nützlichen Bodeneigenschaften zu thun haben, ihre Berechtigung hat, die aber häufig in ganz einseitiger Weise aufgefasst wurde, lässt sich sehr kurz beantworten. Da die Absorptionskräfte nützliche Bodeneigenschaften sind, so sind sie natürlich *physische Elemente des Bodenwerts* und wir haben z. B. durch die Kenntnis der Thatsache, dass Bodenarten, denen thonige oder humose Bestandteile abgehen, also Sand-, Kies- und manche Verwitterungsböden, nur auf Augenblicke, nicht aber dauernd fruchtbar zu machen sind, wenn dieselben nicht einer gründlichen Melioration unterworfen werden, einen Beweis hierfür in Händen. Da jene aber nicht die einzigen nützlichen Bodeneigenschaften sind und entfernt nicht alle andern nützlichen Eigenschaften vertreten können, so sind sie selbstredend *nicht die einzigen Elemente des Wertes*.

Es muss weiter ausgesprochen werden, dass, um eine Bonitierung von Böden auf naturwissenschaftlichem Wege vorzunehmen, es unumgänglich erforderlich ist, sämtliche Bodeneigenschaften, die bei der Pflanzenproduktion in Betracht kommen, entweder direkt experimentell zu bestimmen oder (soweit dies etwa schon möglich ist) deduktiv aus den experimentell bestimmten abzuleiten. Wir sind aber gleich von Anfang an, als wir von der Bodenanalyse sprachen, an der Vorausbestimmung der Bodenqualität vollständig des Umstands wegen gescheitert, weil wir noch immer kein zuverlässiges Mittel besitzen, die für das Pflanzenwachstum in einer Vegetationsperiode

*) Vergl. ebenda, p. 137; ferner über die Zusammensetzung von durch Deplacierung erhaltenen Bodenlösungen Schlösing: Compt. rend., T. 70, p. 98, in denselben grosse Mengen von Salpetersäure, wie überhaupt dieser Gehalt stets steigt, wenn der Boden nicht mit Pflanzen besetzt ist.

**) Vergl. z. B. Warington: Journ. of the Chem. Society, 1887.

***) Vergl. Biedermann: Landw. Versuchsst., 1869, p. 13, und 1872, XV, p. 21, und Knop: Die Bonitierung etc., Leipzig 1871.

verfügbaren Stoffe vorauszubestimmen. Zur Kenntniss dieses wichtigsten aller hier ins Spiel kommenden Faktoren kann uns die Feststellung der Absorptionskräfte ganz und gar nichts beitragen, denn wenn selbst die im absorptiven Zustande befindlichen Stoffe die allein verfügbaren wären, was ja sicherlich nicht der Fall ist, so besitzen wir ja auch kein Mittel zur Bestimmung dieser ersteren. Damit ist nun im Grunde das Urtheil gesprochen. — Es ist im entgegengesetzten Sinne hinzuzufügen, dass die Absorptionsfähigkeit einzelner Bodenarten für bestimmte Stoffe unter sonst gleichen Umständen um so grösser sein wird, je ärmer die Bodenarten an diesen Stoffen, d. h. ja doch wohl, je unfruchtbarer sie sind. Dies folgt aus den Sätzen der Vertretung der absorbierten Stoffe untereinander. — Abgesehen hiervon kann aber noch in letzter Linie gesagt werden, dass eine möglichst energische Absorption für die Zwecke der Kultur durchaus nicht der günstigste Fall sein *kann*, denn es giebt eine Reihe von nützlichen indirekten Düngemitteln, deren Wirksamkeit vorzüglich in der Abschwächung der Absorptionskräfte besteht*).

Achte Vorlesung.

Die physikalische Beschaffenheit der Ackererde. — Die Bodenwärme.

Man unterscheidet ganz allgemein neben den chemischen Eigenschaften der Ackererde, welche für den Pflanzenbau in Betracht kommen, physikalische Eigenschaften derselben, welche ebenso wichtig für deren Fruchtbarkeit sind. Wir haben dies in einer der letzten Vorlesungen so auszudrücken versucht, dass wir die Ackererde in ihrer Eigenschaft als „Bodenapparat“ von derselben in ihrer Eigenschaft als „Bodenreservoir“ auseinandergehalten haben.

Es ist von vornherein klar, dass zwei Böden, die hinsichtlich ihrer chemischen Eigenschaften, hinsichtlich der Menge von Nährstoffen, welche sie der Vegetation zur Verfügung stellen, einander ganz gleich sind, sich doch dem Pflanzenwachstum gegenüber sehr verschieden verhalten können. Der Boden ist für die Pflanze mehr als eine blosse Nährstoffquelle, er ist gleichzeitig der Träger und Vermittler einer grossen Reihe von anderen Vegetationsbedingungen.

Wenn wir uns ins Gedächtnis zurückrufen, was es ausser den (in der Reichhaltigkeit ihrer Lieferung von den chemischen Eigenschaften des Bodens abhängigen) Pflanzennährstoffen noch für unerlässliche Vegetationsbedingungen giebt, und welche dieser Bedingungen noch von den Bodeneigenschaften abhängig, d. h. also nicht rein atmosphärische sind, so kommen wir ungefähr zu folgendem Resultate:

*) Siehe Düngerlehre, 9. Vorlesung. Eine Zusammenstellung des Absorptionsvermögens sehr verschiedener Erdarten findet sich bei Knop: Die Bonitierung etc., 1871, p. 40, und Biedermann: Landw. Versuchsst., XV, p. 21. Die Bestimmung der Basenabsorption wird am besten an Ammoniak vorgenommen, da diese Basis gewöhnlich am schwächsten vertreten ist und daher deren Absorption am wenigsten vom augenblicklichen Düngungszustande abhängt.

Zu allererst wäre daran zu erinnern, dass eine gewisse mechanische Beschaffenheit der Krume schon wegen der Eigentümlichkeiten der Bewurzelung der angebauten Gewächse erforderlich ist, dass nur in einer pulverförmigen Masse die Wurzeln eindringen, sich weit verzweigen und zugleich den nötigen Halt gewinnen können, dessen die Pflanze draussen in der Natur durchaus bedarf. — Dies sind indessen Dinge, die so selbstverständlich erscheinen, dass blossе Andeutungen zu ihrer Erledigung genügen.

Die *Wärme*, die einer Pflanze zur Verfügung steht und von deren Menge und Gleichmässigkeit das Pflanzenwachstum, wie wir ausführlich dargelegt haben*), abhängig ist, wird nicht allein durch klimatische Verhältnisse, sondern auch durch die Eigenschaften des Bodens bedingt. Das physikalische Verhalten des Bodens der ihm zugeführten Wärme gegenüber ist also einer Untersuchung zu unterwerfen.

Einige Nährstoffe atmosphärischen Ursprungs sind in der Reichhaltigkeit ihrer Zuführung ebenfalls von physikalischen Bodeneigenschaften abhängig. In erster Linie ist hier zu nennen das *Wasser*, für welches der behauptete Sachverhalt klar ersichtlich ist, wenn man sich erinnert, dass der Landwirt von trocknen und nassen Böden spricht.

Endlich ist auch von den physikalischen Eigenschaften der Ackererde die Zufuhr des *atmosphärischen Sauerstoffs* zu den unterirdischen Pflanzenorganen, dessen die meisten Gewächse nicht entraten können, abhängig. Dies ist ein Verhalten, welches wir als *Durchlüftung* derselben bezeichnen können. Diese Eigenschaft ist indessen, wie wir bald erkennen werden, eine Art von Korrelativ zu dem Verhalten des Bodens gegen das Wasser, so dass beide Eigenschaften zusammen behandelt werden müssen.

Für die andern atmosphärischen Nährstoffe ist ein Verhältnis der Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften weniger hervortretend und keiner besonderen Behandlung wert. Freilich ist die Menge der Kohlensäure, welche in dem Regenwasser gelöst, auf die Grundstücke niederfallend, denselben verbleibt und daselbst der Vegetation und noch mehr chemischen Reaktionen in der Ackererde zu gute kommt, auch von den physikalischen Eigenschaften der Ackerkrume abhängig, und ebenso teilweise die Salpetersäure und das Ammoniak des Regenwassers. In einem durchlässigen Boden werden im allgemeinen mit dem Wasser auch die darin aufgelösten Stoffe verhältnismässig rasch verloren gehen. Doch in alle diese Dinge sich zu verlieren, würde zu Spitzfindigkeiten führen**).

*) Erster Teil, 24. Vorlesung.

**) Man hat zwar ausser den hier zu besprechenden noch eine ganze Reihe von physikalischen Bodeneigenschaften, als für das Pflanzenwachstum in Betracht kommend, eingehenden Ermittlungen unterworfen. Man bestimmt das scheinbare und wirkliche spezifische Gewicht, die Festigkeit, Zähigkeit, Ausdehnung und Zusammenziehung bei Wasseraufnahme und -abgabe, ja sogar die Adhäsion der verschiedenen Bodenarten an anderen Körpern, und seit E. Wollny sich der Aufgabe unterzogen hat, alle physikalischen Bodeneigenschaften experimentell zu bearbeiten, ist auch die in früheren Auflagen dieses Buches gemachte Klage über ein kritikloses Verfahren bei diesen Ermittlungen gegenstandslos. Allein es würde mit der Ökonomie dieses Lehrbuches, dessen Zweck doch ist, in die Wissenschaft einzuführen und dieselbe einem grossen Leserkreise schmackhaft zu machen, streiten, wollte ich auf alle diese Dinge, deren Bedeutung z. T. nicht hervorragend ist, eingehen.

Wir haben es also hauptsächlich in unsern Betrachtungen der physikalischen Eigenschaften der Ackererde nur mit dem Verhalten derselben gegen die *Wärme* und das *Wasser* zu thun, und wir gehen mithin zur Behandlung dieser speziellen Eigentümlichkeiten über.

Wenn uns zunächst die Aufgabe zufällt, den Einfluss zu untersuchen, welchen die verschiedenen geeigenschafteten Böden auf die Temperaturverhältnisse, denen die auf diesen Böden wachsenden Pflanzen unterworfen sind, ausüben, so müssen wir uns vor allem an die Abhängigkeit erinnern, in welcher das Pflanzenwachstum von den Temperaturverhältnissen sich befindet, und besonders unser Augenmerk auf diejenigen Temperaturgrenzen richten, die bei der praktischen Landwirtschaft fühlbar werden. Nur die Berücksichtigung dieser *realen* Verhältnisse wird unsere Kenntnis von jener Abhängigkeit, welche wir uns in den beiden letzten Vorlesungen des ersten Teils dieses Buches verschafft haben, zu einer fruchtbaren machen.

Wir haben in jenen Vorlesungen gesehen, dass für einen jeden physiologischen Prozess eine theoretisch nicht vorauszubestimmende und für verschiedene Pflanzen verschiedene untere und obere Grenztemperatur existiert, jenseits welcher er sistiert wird, dass in gleicher Weise auch die Lebensfähigkeit des ganzen pflanzlichen Organismus durch zwei jene einschliessende Temperaturgrenzen regiert wird. Allein von diesen beiden Grenztemperaturen kommt für unsere klimatischen Verhältnisse, welche wir ja in erster Linie im Auge behalten wollten, praktisch nur die untere in Betracht. Die obere Grenztemperatur, die einem pflanzlichen Organismus völlig den Garaus macht, scheint auch in den heissesten Länderstrichen überaus selten erreicht zu werden; und wenn es auch nach den vorliegenden und teilweise mitgeteilten Beobachtungen als wahrscheinlich gelten muss, dass unter natürlichen Verhältnissen die Pflanzen manchmal auf Temperaturen erwärmt werden, die für den Verlauf einiger Vegetationerscheinungen weniger günstige sind, so ist ein Eintreten derartiger Zustände doch für unsere Himmelsstriche so verschwindend selten gegenüber der entgegengesetzten Erscheinung, dass sie geradezu vernachlässigt werden können, und für die heissen Klimate liegen noch zu unvollständige Beobachtungen über das Wärmebedürfnis der dort einheimischen Pflanzen vor, als dass jene Möglichkeit hier eine ausgedehnte Berücksichtigung erfahren dürfte. Überall, wo Pflanzen, wenn wir von der künstlich gehegten Flora, die in nordischen Klimaten und auf hohen Bergen zu Hause ist, absehen, nach der wenig exakten Ausdrucksweise des gewöhnlichen Lebens durch Hitze zu Grunde gehen, kann man ruhig der bei starker Hitze sich geltend machenden Trockenheit die Schuld beimessen, denn angestellte Versuche lehren, dass die meisten Pflanzen ausserordentlich hohe Temperaturen aushalten können, wenn man die Pflanzen vor Austrocknung schützt.

Andererseits ist jedermann bekannt, dass die untere Temperaturgrenze, welche dem Gedeihen der Pflanze eine Schranke setzt, unter den realen Verhältnissen unserer Klimate sehr häufig thatsächlich erreicht wird. Manch eine Pflanzung wird durch Frost beschädigt, und besonders die Winzer und Obstbaumzüchter wissen davon zu erzählen. Und nicht bloss das *Absterben* der Pflanzen infolge von Kälte kommt hier in Betracht; aus unserer früheren Behandlung geht zugleich hervor, dass eine Reihe von physiologischen Prozessen bei niedriger Temperatur mit einer ge-

ringen Intensität verlaufen und zwar bei Temperaturen, die durchschnittlich viel öfter erreicht werden müssen. Es ist in der That kaum nötig, Beispiele anzuführen. Es ist ja weltbekannt, dass Trauben im mittleren Deutschland in kalten Jahren nicht zur Reife kommen, weil der Zuckerbildungsprozess unvollständig verläuft. Jedermann weiss, dass unser Getreide und jede beliebige andere Pflanze in kalten Perioden kein gedeihliches Wachstum zeigt, ohne dabei gerade zu Grunde zu gehen; und früher haben wir schon auseinandergesetzt, dass z. B. auch die Ausbildung des Chlorophyllorgans von gewissen Temperaturen abhängig ist, die praktisch häufig nicht erreicht werden. Vor allem ist es aber der unvollständige Verlauf der Blüte nicht bloss bei Obstbäumen, sondern auch bei Roggen und anderen Feldfrüchten, dessen hier der praktische Landwirt gedenken wird.

Es ist an dieser Stelle noch besonders hervorzuheben, dass auch die oberirdischen Pflanzenteile der gewöhnlichen landwirtschaftlichen Gewächse, welche also nicht direkt vom Boden umgeben sind, doch in ihren Temperaturverhältnissen vielfach von dem Verhalten dieses gegen Wärme abhängig sind, da sie einen grossen Teil ihrer Wärme erst von ihm durch Rückstrahlung empfangen. Daher in kühlen Gegenden ein tiefer Rebenschnitt angewendet wird, um die reifenden Trauben möglichst nahe an den wärmenden Boden zu bringen. Diese Beziehung geht grossenteils hervor aus den Eigentümlichkeiten des Mediums, in welchem sich diese oberirdischen Pflanzenteile befinden, der atmosphärischen Luft. Diese ist fast ohne Absorptionsvermögen für Wärmestrahlen, von sehr geringer Wärmekapazität und deshalb von geringem Einfluss auf die Erwärmung von ihr eingeschlossener Gegenstände. — Die Abhängigkeit der Temperatur der Pflanzen von der des Bodens, auf dem sie wachsen, ist indessen nicht so gross, dass sie nur *allein von dieser* bedingt wäre. Namentlich vermögen die höchsten Pflanzenteile bei nächtlicher Strahlung in den Weltraum ziemlich selbständige Temperaturen anzunehmen*).

Aus dem vorhin Gesagten folgt aber weiter, dass diejenigen Böden, welche durch ihre Eigenschaften hohe Temperaturen begünstigen, bei Gleichheit der übrigen in ihnen enthaltenen Vegetationsbedingungen im allgemeinen die fruchtbarsten**) sein werden, da sie geeignet sind, die auf ihnen wachsenden Pflanzen denjenigen Temperaturen näher zu bringen, die für ihr Gedeihen die förderlichsten sind, so verschieden das Wärmebedürfnis der einzelnen angebauten Gewächse auch immer sein mag. Wir werden also zu untersuchen haben, welche Bodenarten sich in dieser Hinsicht am günstigsten verhalten, welcher Natur die „warmen“ Böden sind, um auf diese Weise ein Urteil darüber zu gewinnen, welche Maassregeln es giebt, die Bodeneigenschaften in der gewünschten Richtung abzuändern.

*) Vergl. über diesen Gegenstand B. I, die 25. Vorlesung, p. 412. — Es ist ferner nicht ganz ausser Augen zu lassen, dass die Temperatur eines Bodens nicht bloss direkt für die auf ihm wachsenden Pflanzen in Betracht kommt, sondern auch für die Vorgänge chemischer und physikalischer Natur, welche in der Ackererde sich abwickeln und von deren Verlauf die Fruchtbarkeit derselben mit abhängt. Diesem Gesichtspunkt wird von Mulder eine etwas übertriebene Wichtigkeit beigelegt; vergl. dessen Chemie der Ackerkrume, B. III, p. 383.

**) Vergl. in dieser Hinsicht die interessanten Mitteilungen von Gasparin und Creuzé Latouche über die Weinkultur auf hellen und dunkeln Böden in des ersteren Cours d'agriculture, 1843, T. I, p. 179.

Als Wärmequelle für den Boden und die in ihm wurzelnden Pflanzen kommen möglicherweise in Betracht: *die Sonnenwärme, die Wärme infolge chemischer Prozesse in der Ackerkrume* und dann etwa noch *die innere Erdwärme*.

Die Sonne bestrahlt die Erdoberfläche und erwärmt dieselbe je nach der geographischen Breite und nach Durchstrahlbarkeit der Atmosphäre in verschiedenem Grade. Die durch das Bestreben nach Wärmeausgleichung hervorgerufenen, durch die eigentümliche Konfiguration der Oberfläche der Erde, durch die Umdrehung dieser letzteren mannigfaltig abgelenkten Luft- und Wasserströmungen modifizieren die an jedem einzelnen Orte herrschende Temperatur vielfältig. Alle diese Faktoren zusammen bestimmen die *klimatischen* Wärmeverhältnisse irgendeines Ortes. Soweit bleiben spezifische Bodeneigentümlichkeiten noch ganz und gar aus dem Spiel.

Die Neigung eines Terrains gegen die einzelnen Himmelsstriche bringt dann einen neuen, ausserhalb der klimatischen Verhältnisse liegenden Faktor hinzu. Der Südhang eines Thals empfängt von der Sonne, wegen der mehr der Senkrechten sich nähernden Bestrahlung, auf die Flächeneinheit eine grössere Wärmemenge*) als die Ebene und die Grundstücke von einer anderen Neigung, und in dem gleichen Sinne wirkt auch der daselbst sich geltend machende grössere Schutz vor rauhen Winden. Von einem eine gewisse Wärmemenge repräsentierenden Strahlenbüschel empfängt natürlich eine zu demselben senkrecht geneigte Ebene mehr als eine Ebene in schiefer Neigung, da von dieser letzteren ein grösseres Stück von diesem selben Strahlenbüschel beschienen wird. Doch ist die erworbene Wärme nicht einfach proportional dem Sinus des Winkels, welchen der einfallende Strahl mit der Bodenfläche bildet, da nicht nur Feuchtigkeitsverhältnisse, sondern auch die Bestrahlungsdauer, welche bei senkrechter Exposition ungünstiger ist, die Sache komplizieren. Für eine ganze Reihe von Kulturen ist dieser einzige Unterschied entscheidend, ob dieselben überhaupt möglich sind.

Dieser Einfluss ist freilich nicht *immer* als ein günstiger zu betrachten; denn schon Boussingault hat darauf aufmerksam gemacht**), dass in Schottland und der Schweiz die Nordabhänge des Gebirges viel fruchtbarer sind als die Südabhänge, und dies naturgemäss aus dem grösseren Temperaturwechsel erklärt, dem solche Lagen (namentlich wo raue Winde wehen, aber auch infolge der

*) An der Oberfläche der Erde kann der hierdurch bewirkte Unterschied leicht 20° C. betragen, wie schon Malaguti und Durocher gezeigt haben. Einer eingehenden Erörterung der hierbei in Betracht kommenden Verhältnisse hat sich E. Wollny (Forsch. a. d. Geb. der Agrikulturphysik, 1886, p. 10) unterworfen. Aus den angestellten Versuchen ergibt sich ausser Dingen, die sich voraussehen lassen, dass der Einfluss einer geneigten Lage auf die Erwärmung im Frühling und Herbst grösser ist als im Hochsommer, was daraus zu erklären, dass die Bestrahlungsdauer einer nach Süden geneigten Fläche im Hochsommer kürzer ist. Übrigens sind die Wollny'schen Zahlen mit Vorsicht zu benutzen, da die durch die geneigte Lage hervorgerufenen Feuchtigkeitsunterschiede nicht ausgeglichen sind und bei dem Resultate mitwirken. Die Zahlen geben also ein besseres Bild in Bezug auf die wirklich in der Natur statthabenden Wärmeverhältnisse, als in Bezug auf das eine hier in Rede stehende Moment. In der citierten Abhandlung sind auch die theoretischen Bestrahlungswerte als Funktionen des Winkels mit der Bestrahlungsdauer aus Untersuchungen, denen sich Eser unterzogen hat, angegeben.

**) Vergl. Écon. rur. II, Édit. I, 635.

rascheren Abkühlung der durch die Wärme ausgetrockneten Erde) ausgesetzt sind. Ähnliche Erfahrungen werden vom Harz mitgeteilt, wo die Waldbestände des Südhangs wegen vorzeitiger Entwicklung dem Erfrieren ausgesetzt sind. — Vermutlich gilt dasselbe in noch höherem Grade für südlichere Gegenden, wo jene unteren Grenztemperaturen seltener mehr erreicht werden und die grosse Wasserarmut der von der Sonne ansgedörrten Lagen in Betracht kommt.

In ganz ähnlicher Weise wirken die vor kalten Winden schützenden Terrain-erhebungen auf einer oder mehreren Seiten eines Grundstücks. Beides, die Neigung des Bodens gegen den mittleren Stand der Sonne und dessen Schutz gegen rauhe Winde, sind spezifische Bodeneigenschaften, welche man auch gelegentlich durch künstliche Maassregeln zu erreichen sucht. — In Gegenden, deren physische und wirtschaftliche Verhältnisse zu einer intensiven Weinkultur drängen, z. B. am Rhein und in der bayrischen Pfalz*), sind kostspielige Erdarbeiten zur Veränderung der Neigung eines Grundstücks nicht ganz ungewöhnlich, und in rauen windigen Gegenden, z. B. in Flandern, sind schützende Hecken und Baumanpflanzungen zwischen Bau- oder Weideland überaus häufig**).

Neben diesen mehr in der Terraingestaltung liegenden spezifischen Bodeneigentümlichkeiten kommen nun aber die physikalischen Eigenschaften der *Ackerkrume* selbst in hohem Maasse für uns in Betracht, um so mehr, als auf die Abänderung dieser Bodeneigenschaften sich vorwiegend unsere wirtschaftlichen Maassregeln beziehen. Alle übrigen Umstände einander gleich gesetzt, wird ein Boden bei Bestrahlung durch die Sonne *um so mehr Wärme zurückhalten, je weniger Licht- und Wärmestrahlen von seiner Oberfläche zurückgeworfen werden, je grösser sein Absorptionsvermögen für Wärme ist*. Alle Strahlen, die nicht zurückgeworfen werden, verbleiben dem Boden, da derselbe nicht erheblich durchstrahlbar, die Wärmeleitung in demselben eine sehr langsame ist, also nicht, wie durch die Luft, Wärmestrahlen durch ihn hindurchgehen können, ohne ihn selbst zu erwärmen. Nichts vermag dieses Verhalten besser zu demonstrieren als die Thatsache, dass auf die Temperaturen von Erdschichten, welche nur sehr wenig tief unter der Erdoberfläche liegen, die Jahreszeiten keinen Einfluss zu üben vermögen. Die obersten Schichten konstanter Temperaturen liegen in den Tropen nur wenige Fuss unter der Erdoberfläche, in den den Polen näher liegenden Länderstrichen, wo die Unterschiede zwischen jährlichen Wärmeperioden scharf hervortreten, beträchtlich tiefer; man schätzt 24 Meter im Maximum***).

Mit diesem Absorptionsvermögen des festen Bodens, das gegenüber dem der Luft ein ungeheures ist, hängt dann selbstredend der bei Sonnenschein so auffällige Temperaturunterschied zwischen Boden und Luft zusammen. Schübler, der sich zuerst um die Ermittlung der physikalischen Bodeneigenschaften verdient gemacht

*) Dasselbst steigt ja auch der Bodenwert (natürlich nur ganz stellenweise) bis zu 200000 Mark per Hektar.

**) Der holländische Tabaksbau zwischen den stereotypen Bohnenhecken ist ein hierhin-gehöriges Beispiel.

***) Vergl. Bischof: Geologie, Bd. I, p. 79. Über diesen ganzen Gegenstand auch umfassende Zusammenstellungen bei Meister: Die Temp. d. Erdb. etc., 1860.

hat, stellte durch alle Monate des Jahres hindurch vergleichende Beobachtungen über Boden- und Lufttemperatur im Sonnenscheine an, und obgleich wir begründete Vermutung hegen müssen, dass die Lufttemperaturen nach den damals üblichen Messungsmethoden*) etwas zu hoch angegeben sind, so konnte doch ein mittlerer Temperaturunterschied von etwa 22° C.***) zwischen beiden Medien im Maximum über 30° C. (natürlich nur in der obersten Bodenlage) konstatiert werden, was auch nach einem kleinen Abzuge noch eine sehr erhebliche Grösse bleibt. Das Gleiche lehrt aber auch die tägliche Erfahrung, wenn wir bei beliebig vielen Graden Kälte in der Februarsonne dennoch starkes Tauen eintreten sehen, und im Grunde schon die jedem Kinde bekannte Thatsache, dass wir im Sonnenschein eine stärkere Wärme empfinden als im Schatten, da eben unser Leib, unsere Kleider feste Körper von starkem Absorptionsvermögen sind und andererseits von einer erheblichen Temperaturdifferenz der miteinander kommunizierenden Luft in der Sonne und im Schatten selbstverständlich nicht die Rede sein kann. — Auf dieselbe Thatsache ist endlich die grössere Kälte in grösserer Höhe der Atmosphäre zurückzuführen.

Verschiedene feste Körper haben aber nun ein verschiedenes Absorptionsvermögen. Jedermann weiss, dass, wenn man sich in einem schwarzen Rocke der Bestrahlung durch die Sonne aussetzt, man ein intensiveres Gefühl von Wärme empfindet, als wenn man dies in einem hellfarbigen von sonst gleicher Beschaffenheit thut, daher man in warmen Himmelsstrichen und Jahreszeiten einer hellen Bekleidung den Vorzug giebt. Man kann sich auch bei Bodenarten leicht durch vergleichende Beobachtung von der sehr verschiedenen Befähigung, Wärme zu absorbieren, überzeugen, wenn man dieselben nebeneinander in der Sonne ausbreitet und vergleichende Untersuchungen anstellt. Es ist dies zwar zur Ermittelung der Wärmemengen keine ganz exakte Methode, da wegen der Verschiedenheit der spezifischen Wärme der einzelnen Bodenarten bei gleicher Wärmeabsorption die Temperaturerhöhung eine verschiedene sein kann. — Allein nimmt man trockene Böden oder Böden von annähernd gleichem Wassergehalt, so sind die Unterschiede der spezifischen Wärme nicht erheblich genug, dass sie den Sinn der Beobachtungsergebnisse zu ändern im stande wären.

Schübler hat nun zuerst solche Beobachtungen mit Hilfe kaum in die Erde eingesenkter Thermometer angestellt und im direkten Sonnenschein bei einer Lufttemperatur von 25° C. folgende Temperaturen für die einzelnen von ihm verwendeten getrockneten Bodenarten gefunden:

Graugelber Quarzsand	$44,7^{\circ}$	Weisse feine Kalkerde	$43,0^{\circ}$
Weissgrauer Quarzsand	$44,5^{\circ}$	Schwarzbauner Humus	$47,4^{\circ}$
Hellgrauer Gips	$43,6^{\circ}$	Gartenerde	$45,2^{\circ}$
Magerer Thon	$44,1^{\circ}$	Bläulicher Thon	$45,0^{\circ}$
Fetter Thon	$44,5^{\circ}$	Ackererde von Hofwyl	$44,2^{\circ}$
Graugelber Thonboden	$44,6^{\circ}$	Ackererde vom Jura	$43,7^{\circ}$.

*) Infolge der schwer zu vermeidenden Strahlung fester Gegenstände gegen den im Schatten aufgehängten Thermometer; vergl. B. I, die 25. Vorlesung, p. 412.

**) Dem entsprechend wurden in heissen Ländern Maximaltemperaturen des Bodens von 70° C. beobachtet; vergl. Knop; Kreisl. d. Stoffe, I, p. 466; übrigens will Schübler in

Die Unterschiede sind, wie man sieht, keine sehr bedeutenden, aber doch vortrefflich zu konstatierende. Es ist leicht zu erkennen, dass die dunkeln Bodenarten sich am stärksten, die hellen am langsamsten erwärmen*). Man braucht nur die Temperatur des schwarzbraunen Humus oder auch der Gartenerde mit der des Gipses und der Kalkerde zu vergleichen.

Die besprochene Eigenschaft hat ohne Zweifel ihre praktische Bedeutung, und die dunkle Farbe kann als eines der Momente angesehen werden, um derentwillen die stark humosen Bodenarten wertvoller sind als andere. Ja zuweilen erscheint es wirtschaftlich ausführbar, die Böden absichtlich dunkler zu färben. Die glänzenden Resultate, welche ein rheinbayerischer Rebgutbesitzer von seiner Methode, seinen hellen Boden mit Basaltschutt zu überfahren, gehabt hat, sind ohne Zweifel diesem Umstande zuzuschreiben**).

Mit noch grösserer Deutlichkeit ergibt sich dieselbe Thatsache aus Versuchen desselben Forschers, zu welchen die nämlichen Erdarten, die an der Oberfläche durch etwas Russ geschwärzt oder vergleichungsweise mit etwas Magnesia weiss gemacht waren und so dem Sonnenschein ausgesetzt wurden, benutzt worden sind. Die Resultate waren:

Erdarten.	Weisse Oberfläche.	Schwarze Oberfläche.	Temperaturunterschied.
Graugelber Quarzsand	43°,3	50°,9	7°,6
Weissgrauer Quarzsand	43°,3	51°,1	7°,8
Hellgrauer Gips	43°,5	51°,3	7°,8
Weisse feine Kalkerde	42°,9	50°,5	7°,6
Schwarzbrauner Humus	42°,6	49°,4	6°,8
Bläulicher Thon	41°,3	48°,9	7°,6
Ackererde vom Jura	42°,9	50°,5	7°,6.

Diese Versuche zeigen noch besser, wieviel bei der Erwärmung in der Sonne von der Färbung der bestrahlten Oberfläche abhängt, und wie dagegen die übrigen Eigentümlichkeiten des Bodens, spezifische Wärme, Wärmeleitungsfähigkeit als die Erwärmungstemperatur mitbestimmend in den Hintergrund treten***). Die schwarze oder weisse Färbung der Oberfläche hat im Durchschnitt über 7° C. Temperaturunterschied bewirkt, während der bedeutendste Unterschied zwischen Böden mit gleich-

Deutschland (Tübingen) ein beinahe ebenso hohes Maximum (67° C.) beobachtet haben (vergl. dessen Grundsätze der Agrik.-Chem., 1830, II, p. 91, u. Sprengel: Die Bodenkunde etc., 1837, p. 300).

*) Dasselbe lehren auch die neuen und sorgfältigen Versuche von E. Wollny (vergl. z. B. Forschungen a. d. Geb. d. Agrik.-Phys., Bd. IV, p. 331).

**) Ich erinnere auch an den von de Saussure mitgeteilten Gebrauch der Bewohner Chamouni's, die auf ihre mit Schnee bedeckten Felder schwarzen Schieferstaub austreuen, um denselben in der Sonne rascher zum Schmelzen zu bringen. Ähnliche, indes anders gedeutete Beobachtungen teilt Senft aus der Rhön mit; vergl. Landw. Jahresber., 1867—68, p. 44. Auch die beliebten Russdüngungen im Frühjahr auf Sand zu Roggen gehören vielleicht zu einem kleinen Teile hierher; der Hauptzweck derselben ist freilich Stickstoffzufuhr. Mehrere hierhingehörige Angaben auch bei v. Gohren: Agrikulturchemie, 1877, p. 95.

***) Humboldt fand auf den canarischen Inseln einen Temperaturunterschied von 14° für schwarzen und weissen Sand. Vergl. v. Gohren: Agrikulturchemie, 1877, p. 95.

gefärbter Oberfläche, nämlich zwischen Gips und Thon mit schwarzer Oberfläche, nur $2,4^{\circ}$ beträgt.

Wollte man allerdings den Gegenstand streng theoretisch behandeln, so müsste man hervorheben, dass die Absorptionsfähigkeit der festen Körper für Wärmestrahlen nicht allein durch diese äusserlich erkennbare Färbung bedingt ist, dass namentlich neben substantiellen Eigentümlichkeiten, welche nicht unmittelbar durch unsere Sinne wahrgenommen werden können, die mechanische Beschaffenheit der absorbierenden Oberfläche wesentlich in Betracht kommt. Allein für unsern speziellen Zweck muss darauf aufmerksam gemacht werden, dass alle Ackererden mehr oder weniger feinpulverige Körper sind, von ziemlich gleicher Rauheit der Oberfläche, und dass es für denselben genügt, in Bezug auf Wärmeabsorption auf den einen Gesichtspunkt: *hell* und *dunkel*, hinzuweisen. Derselbe ist dazu so unmittelbar verständlich, dass man keine besondere Anstrengungen zu machen braucht, ihn dem Gedächtnis einzuprägen. Ein heller Körper ist eben deshalb *hell*, weil er nur dunkle Wärmestrahlen absorbiert, die leuchtenden, gleichfalls der Wärmewirkung fähigen sehr vollständig zurückwirft; — ein dunkler Körper erscheint deshalb *dunkel*, weil er auch diese letzteren absorbiert und zur Wärmewirkung verwendet. Dass er sich also bei Bestrahlung stärker erwärmt, ist ebenso wie seine dunkle Färbung ein äusserlich wahrnehmbares Symptom eines und desselben Vorgangs.

Von der Wärmeabsorption eines Ackerbodens, für welche dessen Färbung ein so brauchbares Zeichen abgibt, ist nun aber die Temperatur, bis zu welcher sich ein solcher Boden im Sonnenschein erwärmt, nicht *allein* abhängig und dass wir soeben die Temperatur als einen brauchbaren Maassstab haben gebrauchen können, liegt darin, dass man die übrigen Eigenschaften der benutzten Böden so gleichartig wie möglich gewählt hat. Zufuhr einer gewissen Wärmemenge entspricht ja durchaus nicht allgemein einer gewissen gleichbleibenden Temperaturerhöhung. Es sind, um in letzterer Beziehung zu einem Schlusse zu gelangen, noch wesentlich drei Momente zu berücksichtigen notwendig: *die spezifische Wärme der Ackerkrume* (oder deren Wärmekapazität), *der Verbrauch von Wärme* durch Leistung von Arbeiten in der Ackererde und *die Wärmeleitung*.

Wir haben zwar vorhin hervorgehoben, dass die eigentlichen festen Bestandteile der Ackererde nicht so verschiedene spezifische Wärmen besitzen*), dass hierdurch ein sehr merklicher Einfluss auf die Temperaturerhöhung bei Bestrahlung ausgeübt

*) In Bezug auf die verschiedene Wärmekapazität trockner und lufttrockner Erdarten hat Pfaundler (Poggend. Ann., Bd. 129, p. 102, u. Jahresber. f. Agrik.-Chemie, 1866, p. 54) vergleichende Zahlen mitgeteilt, aus denen hervorgeht, dass nur sehr humose Erden beträchtlich höhere spezifische Wärmen besitzen als die übrigen sonst ziemlich gleichmässig sich verhaltenden Erdarten. Vergl. auch Knop: Die Bonitierung etc., 1871, p. 27; ferner v. Liebenberg: Untersuch. über die Bodenwärme, 1875. Wenn man jedoch, was das Rationellere ist, die spezifische Wärme auf die Volumina bezieht, so sind die humosen Erden wieder im Rückstand. Von neueren Untersuchungen sind namentlich Lang (Forsch. a. d. Geb. d. Agrikulturphysik, I, p. 109) und Ulrich: XVII, p. 1, zu berücksichtigen. Danach ist die spez. Wärme

	von Quarzsand	Kaolin	Humus	Kalkspat
	0,19	0,23	0,44	0,21
aber per Volumeinheit	0,29	0,23	0,16	—

werden könnte. Aber es ist zu berücksichtigen, dass die Ackererde nicht aus diesen festen Teilen allein besteht, dass sie in der Form, in welcher sie zum Pflanzenbau dient, stets tropfbar flüssiges Wasser in sich enthält. Das Wasser zeichnet sich aber durch seine hohe spezifische Wärme andern Stoffen gegenüber ganz besonders aus. Während man dem trocknen Erdboden ungefähr durchschnittlich eine spezifische Wärme von 0,2 beilegt*), besitzt das Wasser, dessen Wärmekapazität ja als Einheit solchen Berechnungen zu Grunde gelegt wird, eine solche von 1, also eine ungefähr *fünfmal so grosse*; d. h. es ist annähernd fünfmal so viel Wärme dazu erforderlich, um Wasser über eine gewisse Temperaturhöhe zu erwärmen, als dies mit der trocknen Erde der Fall ist, und absorbieren beide, Wasser und Erde, bei einer Bestrahlung von aussen die gleiche Wärmemenge, so ist die Temperaturerhöhung der Erde fünfmal so gross als die des Wassers.

Wenn man dagegen, was rationeller erscheint, die spezifische Wärme auf ein gleiches Bodenvolum bezieht, so sind die Unterschiede wegen der grösseren Schwere des Bodens etwas minder gross, aber immerhin noch gross genug.

Ich will hier beiläufig erwähnen, dass auf dies verschiedene Verhalten des Wassers und der festen Bestandteile der Erde bei Erwärmung und Abkühlung grossenteils die auffälligen Unterschiede zwischen See- und Kontinental-Klima**) zurückgeführt werden können, indem das Wasser mit seiner grossen Wärmekapazität den Temperaturschwankungen, wie sie die verschiedenartige Bestrahlung herbeizuführen bestrebt ist, grossen Widerstand entgegensetzt, die feste Erde denselben Folge leistet. Dasselbe Verhalten macht sich nun auch in der feuchten Ackererde geltend und bewirkt in derselben eine erheblich langsamere Erwärmung, da bei Absorption der gleichen Wärmemenge die Feuchtigkeit der Ackererde eine viel grössere Menge dieser Wärme beansprucht, um ihre Temperatur zu erhöhen, als die festen Bodenteile.

Zugleich wirkt noch ein anderer Umstand in derselben Richtung. Wir haben soeben einen zweiten bei Ermittlung der wirklichen Temperaturerhöhung zu beachtenden Punkt, die Leistung der Wärme im Boden, die dieselbe sonst etwa vollziehe, hervorgehoben. Ich habe dabei die Verdunstung des Wassers, die bei gesteigerter Temperatur mit grösserer Energie von statten geht, im Auge gehabt. Eine feuchte Ackererde wird nicht bloss wegen der grossen spezifischen Wärme des Wassers sich langsamer erwärmen als eine trockene, sie wird auch durch die in diesem Falle mögliche und bei steigender Temperatur steigende Verdunstung einen wirklichen Wärmeverlust erfahren, der sie noch weniger einer raschen Erwärmung zugänglich macht.

Schübler's Versuche lehren auch in diesem Falle, dass dem wirklich so ist, wie die Theorie voraussehen liess, und ich teile einige seiner Zahlen mit, die unter

*) Vergl. v. Liebenberg: Untersuch. über die Bodenwärme, 1875, p. 25.

**) Auch die Nähe von Wasser im Binnenlande hat dadurch sicherlich einen Einfluss in Bezug auf die Mässigung der Temperaturextreme des umliegenden Landes und man hat damit sogar die auffällige Erscheinung, dass die Weinkultur so häufig an Flüssen und Seen gefunden wird, in Beziehung gebracht. Vermutlich ist aber in solchen Fällen mehr zu denken an den Temperaturzuwachs infolge der starken Zurückstrahlung des Lichts durch Wasserflächen.

denselben Verhältnissen, wie die vorhin benutzten, also bei einer Lufttemperatur von 25° C. im direkten Sonnenschein ermittelt worden sind.

	Feucht.	Trocken.
Graugelber Quarzsand	37,2° C.	44,7° C.
Hellgrauer Gips	30,2°	43,6°
Fetter Thon	37,2°	44,5°
Weisse feine Kalkerde	35,6°	43,0°
Schwarzbrauner Humus	39,7°	47,3°.

Man sieht aus der Vergleichung beider Zahlenreihen, dass, während sich die trocknen Böden durchschnittlich 20° über die Temperatur der Luft erhoben hatten, die feuchten Böden im Durchschnitt nur 13° wärmer geworden sind. Dieser bedeutende Unterschied*) muss auf die beiden betonten Gesichtspunkte zurückgeführt werden, und nun erscheint uns die landläufige Erfahrung leicht verständlich**), welche die nassen Böden zugleich als die kalten, die trocknen als die warmen bezeichnet und gerne von *nasskalten* Böden spricht, obschon unter Erwägung der praktisch bestehenden Wärmeverhältnisse die Unterschiede nicht immer so gross werden, um allein zu dieser Charakterisierung zu berechtigen, und der Landwirt unter einem kalten Boden häufig auch einen unthätigen Boden versteht.

Zugleich lehren jene Zahlen mit grosser Deutlichkeit, dass die Unterschiede in den Erwärmungsverhältnissen, welche durch den Wassergehalt bewirkt werden, *hervorragendere* sind als die, welche durch die Färbung der Bodenarten entstehen, zumal wenn wir von künstlich gefärbten Böden absehen. Ein nasser dunkler Boden erwärmt sich in der Sonne nicht so rasch als ein trockner heller, obschon er grössere Wärmemengen absorbiert. In den Schübler'schen Versuchen hat weisse, aber trockene Kalkerde eine Temperatur von 43° angenommen, während dunkler, aber feuchter Humus unter den gleichen Verhältnissen nur auf nahezu 40° erwärmt werden konnte, und dies sind die äussersten Zahlen, welche in dieser Richtung bei natürlichen Bodenarten ermittelt worden sind.

An dieser Stelle sind auch zweckmässig die praktischen Beobachtungen zu erwähnen, welche lehren, wie sehr namentlich im ersten Frühjahr die Vegetation auf Wiesen leidet, wenn das Horizontal- oder das künstlich aufgestaute Wasser zu nahe an die Grasnarbe kommt. Hierbei treten Schädigungen ein, die nur durch die schwierigere Erwärmungsfähigkeit desselben erklärt werden können, wie sie auch durch Auffüllen um kaum ein paar Zoll beseitigt werden können. Daher denn auch sehr auffällige direkte Folgen einer vorgenommenen Tieferlegung des Grundwassers, auch wo von der Beseitigung eines eigentlichen Zustandes der Versumpfung nicht die Rede ist.

*) Neuere Versuche über diesen Gegenstand haben die Schlussfolgerungen nur etwas kompliziert, aber nicht wesentlich modifiziert. Vergl. namentlich E. Wollny: Forschungen etc., Band IV, p. 190. Dasselbst auch eine Litteraturübersicht. Auf den gleichen Gesichtspunkt ist wohl auch die Vermehrung der mittleren Bodentemperatur durch Übersandung von Moorböden zurückzuführen, da hierdurch der Wassergehalt der oberen Schicht vermindert wird. Vergl. Fleischer: Biederm. Centralbl., 1885, p. 298.

**) In der Nähe von Wageningen wurde die Temperatur eines Waldbodens mit undurchlassendem Untergrunde im selben Augenblicke zu 2° ermittelt, während ein anderer trockenliegender 7° zeigte.

In ähnlicher Weise sind auch zu erklären die Erfahrungen, wie sie z. B. von Ebermayer*) in zahlenmässigen Belegen mitgeteilt worden sind, über die langsame Erwärmungsfähigkeit der Moorböden im Frühjahr, denn diese Böden sind, wie wir bald erkennen werden, durchschnittlich die wasserreichsten. Im Hochsommer bei grösserer Trockenheit dagegen werden diese selben Böden ihrer dunklen Farbe wegen besonders warm.

Wenn wir ferner uns in unseren Betrachtungen nicht auf eine dünne Bodenschicht, die ausser allem Zusammenhang mit tiefer liegenden Schichten gedacht wird, beschränken wollen, sondern die wirkliche Sachlage ins Auge fassen, nach welcher die oberste absorbierende Fläche mit einer sehr grossen Bodenmasse in Beziehungen des Temperatúraustausches steht, müssen wir auch in dritter Linie die *Verhältnisse der Wärmeleitung* in der Ackererde berücksichtigen, da von diesen die schliessliche Temperatur der Erdoberfläche und der tiefern, für das Pflanzenwachstum noch in Betracht kommenden Schichten abhängig sein wird. — Um eine Vorstellung von dieser Wärmeleitungsfähigkeit zu gewinnen, können wir wieder von der spezifischen Wärmeleitungsfähigkeit der einzelnen festen Bestandteile einer Ackererde absehen, obgleich nachgewiesen ist, dass z. B. verschiedene Felsarten die Wärme mit sehr verschiedener Geschwindigkeit fortleiten. Wenn man z. B. in der Tiefe von einigen Metern an Orten, wo verschiedene Felsarten unter gleichen Bedingungen sich nebeneinander befinden, periodische Temperaturbeobachtungen anstellt, so kann man allerdings das Eindringen der jährlichen Temperaturschwankungen bis zu sehr verschiedenen Tiefen und die Erreichung des jährlichen Temperaturmaximums zu sehr verschiedenen Zeiten in ein und derselben Tiefe konstatieren; dergleichen Erfahrungen sind z. B. während der Bohrung des Gotthardtunnels gemacht — Beweis genug für die verschiedene Wärmeleitungsfähigkeit der Felsarten an sich, die übrigens einfach durch das direkte physikalische Experiment festgestellt werden kann. Weit auffälliger sind noch ohne jeden Zweifel die Unterschiede der Wärmeleitungsfähigkeit zwischen den mineralischen Bestandteilen der Ackererde und den verwesenden organischen Resten in derselben. Letztere als von Natur poröse Substanzen müssen natürlich die Wärme weniger leiten.

Allein wir können, wie gesagt, für unsern Zweck von allen jenen spezifischen Unterschieden der einzelnen festen Bestandteile der Ackerkrume absehen und lediglich auf deren poröse Struktur und Wassergehalt hinweisen. Die poröse Beschaffenheit oder die staubförmige Verteilung einer Masse erschwert die Wärmeleitung in derselben ganz ausserordentlich, weil die Berührung der einzelnen Teilchen eine höchst unvollkommene ist und die Luft keine erhebliche Fähigkeit besitzt, die Wärme fortzuleiten. Die schlechte Wärmeleitung von Wolle, Federn und dergleichen Mitteln, durch die wir Menschen uns vor rascher Abkühlung nach aussen schützen, oder von der sogenannten Infusorienerde, die für technische Zwecke eine grosse Bedeutung in dieser Richtung erlangt hat, beruht weit mehr auf dieser feinen Verteilung als auf der spezifischen Unfähigkeit der einzelnen festen Teilchen jener Stoffe, die Wärme zu leiten. Ein fester Fels hat daher einer Staubmasse gegenüber eine sehr hervor-

*) Forsch. a. d. Geb. d. Agrikulturphysik, 1891, p. 229.

ragende Fähigkeit, die z. B. bei der Bestrahlung absorbierte Wärmemenge in sein Inneres fortzuführen, und die letztere wird sich *ceteris paribus* an ihrer Oberfläche im Sonnenschein auf eine weit höhere Temperatur erheben können als ein solcher Felsblock. Dies Verhalten konnte auch in der Natur an Granitfels und danebenliegendem, durch Verwitterung zertrümmertem Granitsand nachgewiesen werden (Beobachtungen Humboldt's am Orinoko). Die lose Masse nahm an ihrer Oberfläche eine etwas höhere Temperatur an als der massive Fels.

Nun genügt in der That der gemachte Hinweis, dass ein jeder Ackerboden ja aus einer sehr feinertrümmerten Masse besteht, die, wenn sie auch wie Geröllböden noch viele gröbere Gesteinstrümmen einschliesst, doch an sich keine solchen Unterschiede in der Wärmeleitungsfähigkeit zeigt, dass sie für unseren Zweck sehr in Betracht kommen könnten. Höchstens kann man darauf hinweisen, dass sehr feine Bodenarten, ganz besonders auch humose im trockenen Zustande, die schlechtesten Wärmeleiter sind. Diese werden sich also auch am wenigsten tief erwärmen, was für die Vegetation tiefwurzelnder Pflanzen vielleicht von Wichtigkeit ist. So hat Wollny*) nachgewiesen, dass durch diese Eigenschaften die höhere Erwärmungsfähigkeit der dunklen humosen Erde an sich — in einer gewissen Tiefe wieder ausgeglichen werden kann. Steinige und feste Erden sind dagegen von verhältnismässig grosser Leitungsfähigkeit**).

Dann bleibt noch der Einfluss des Wassers auf die Wärmeleitungsfähigkeit des Bodens zu besprechen übrig, da dasselbe in freilich sehr wechselnden Mengen ein konstituierender Bestandteil einer jeden fruchtbaren Ackererde ist. Das Wasser hat bekanntlich an sich keine hervorragende Fähigkeit, die Wärme weiter zu leiten. Der leicht anzustellende Versuch, welcher darin besteht, dass man Eis, welches durch eine durchlöchernte Scheibe am Boden festgehalten wird, in einem hohen Gefässe mit warmem Wasser übergiesst und dabei vermeidet, die einzelnen sich bildenden Flüssigkeitsschichten weiter durch Umrühren miteinander in Berührung zu bringen, lehrt, dass das Eis unter diesen Umständen sehr langsam schmilzt. Die unten sich bildenden Schichten von eiskaltem Wasser haben keine hervorragende Fähigkeit, den darüber liegenden wärmeren Schichten Wärme zu entziehen und so von neuem Eis zum Auftauen zu bringen, und es wird also auf diese Weise die geringe Wärmeleitungsfähigkeit des Wassers deutlich demonstriert. — Lässt man dagegen die Eisstücke oben in dem mit warmem Wasser gefüllten Glase schwimmen, so tritt ein rasches Schmelzen ein, da nun die erkalteten Wasserteile durch ihre Schwere nach unten sinken, wärmere vermöge ihrer grösseren Leichtigkeit an ihre Stelle treten, und es also bei dieser Zusammenstellung einer Wärmeleitung gar nicht bedarf, da die natürliche Zirkulation die Vermischung der verschiedenen warmen Flüssigkeitsteilchen und damit die gleichmässige Verteilung der Wärme bewirkt.

Von diesem bekannten Verhalten des Wassers hinsichtlich der Wärmeleitung kann indessen für unseren Zweck wenig Anwendung gemacht werden, da ein Boden,

*) Forsch. a. d. G. d. Agrik.-Physik, I, p. 1. Vergl. auch Ebermayer: A. a. O. 14, p. 230.

**) Pott: Landw. Versuchsst., Bd. 20, p. 273; auch Wollny: Forschungen a. d. Geb. d. Agrikulturphysik, Bd. II, p. 162.

der so mit Wasser gesättigt ist, dass die Flüssigkeit in demselben zirkulieren könnte, sich in so schlechten Kulturbedingungen befindet, dass denselben auf seine Wärmeleitung zu untersuchen zu Spitzfindigkeiten führen würde. Nur die geringe Wärmeleitung des Wassers an sich bleibt für unseren Zweck von Interesse. Aber so gering dieselbe sein mag*), so ist dieselbe doch noch in jedem Falle grösser als die Wärmeleitungsfähigkeit der Luft, welche ja in den feuchten Böden z. T. durch Wasser ersetzt wird, daher die feuchten Böden praktisch doch eine grössere Wärmeleitung besitzen als die trockenen**).

Ob nun aber gute oder schlechte Wärmeleitung vorzuziehen, scheint ganz allgemein schwierig anzugeben, da man bei Bestrahlung Wärme zu gewinnen, bei Ausstrahlung, von der wir sogleich zu reden haben werden, Wärme zu bewahren wünschen muss. Doch glaube ich, dass, da ein verzögerter Zufluss von Wärme die Vegetationerscheinungen nur verspätet, eine durch schlechte Leitung verzögerte Ausstrahlung dagegen eine Winterfrucht vor Eindringen des Frostes in den Boden beschützen kann, man sich in der Regel für einen geringeren Grad von Wärmeleitung wenigstens für Wintergewächse entscheiden wird. Jedenfalls ist dies ganze Moment neben den beiden ersten behandelten, Farbe und Wassergehalt, nur von untergeordneter Bedeutung.

Bei unserer bisherigen Betrachtung haben wir in erster Linie die Erwärmung des Bodens infolge der Bestrahlung durch die Sonne im Auge gehabt. Der entgegengesetzte Prozess dieser Erwärmung, der für das Gesamtergebnis von der gleichen Wichtigkeit erscheint, ist die *Abkühlung* desselben von oben her durch *Ausstrahlung in den Weltenraum*. Auch hier werden wir wieder die spezifische Befähigung der einzelnen den Boden konstituierenden Elemente und so der einzelnen Bodenarten, nach aussen hin Wärme durch Strahlung abzugeben, einer Untersuchung zu unterwerfen haben.

Vielleicht, so ist man geneigt zu deduzieren, können wir bei dieser Betrachtung von einem physikalischen Gesetze Nutzen ziehen, das eine sehr einfache Beziehung zwischen Absorptionsvermögen und Ausstrahlungsvermögen der Wärme ausspricht. Dieses Gesetz sagt aus, dass das Absorptionsvermögen irgend eines Körpers (worunter man also das Verhältnis der von ihm absorbierten Strahlen zu den auf ihn fallenden Strahlen versteht) in einer konstanten Beziehung zum Ausstrahlungsvermögen eines solchen Körpers steht, so dass zwei Körper von gleichem Absorptionsvermögen auch ein gleiches Ausstrahlungsvermögen besitzen, *vorausgesetzt, dass die Strahlen, um die es sich in beiden zu vergleichenden Fällen handelt, von gleicher Temperatur sind*.

Dieses physikalische Gesetz würde uns geradezu zu dem Schlusse berechtigen, dass dieselben Bodenarten, welche sich bei Bestrahlung durch die Sonne am raschesten erwärmen, bei der Umkehrung des Strahlungsverhältnisses, wo dem erwärmten Boden ein kalter Weltenraum gegenüberliegt, auch am raschesten Abkühlung erleiden, also Böden von der wechselndsten Temperatur sein würden, wenn es sich in beiden Fällen um Strahlen von gleicher Brechbarkeit handelte. Dem ist nun

*) Vergl. Knop: Die Bonitierung etc., 1871, p. 25.

**) Haberlandt: Wissensch. prakt. Untersuchungen, 1877, p. 20; ferner E. Pott: Landw. Versuchsst., Bd. 20, S. 273.

aber nicht so. — Was der Boden empfängt, sind grossenteils leuchtende, sogar ultraleuchtende Strahlen, und nur zum Teil sogenannte Wärmestrahlen; was er im Fall der Ausstrahlung abgibt, sind nur Wärmestrahlen von ganz niedriger Temperatur und geringer Brechbarkeit. Für solche Verhältnisse ist die Anwendung jenes Gesetzes nicht mehr ohne weiteres zulässig. Während z. B. der Kienruss Strahlen aller möglichen Temperaturen sehr vollkommen absorbiert und deshalb auch Strahlen aller möglichen Temperaturen sehr vollständig aussendet, wie an dem verhältnismässig raschen Erkalten eines mit heissem Wasser gefüllten und berussten Theekessels dem eines metallisch blanken gegenüber deutlich ersehen werden kann, verhält sich das Bleiweiss den leuchtenden Strahlen gegenüber, wie seine Farbe lehrt, ziemlich passiv, absorbiert aber Strahlen von 100° mit grosser Begierde und ebenso rasch wie der Russ, und daraus folgt dann das eigentümliche Verhalten jenes Stoffes bei der Ausstrahlung.

Denken wir uns nun z. B. eine Ackererde gebildet aus einem Stoffe, der die Eigenschaften des Bleiweiss' in Bezug auf Wärmestrahlung besässe. Eine solche würde die Strahlen der Sonne, die grossenteils von hoher Temperatur sind, sehr wenig vollständig absorbieren, bei Nacht aber eine möglichst hohe Wärmestrahlung unterhalten, weil es sich jetzt nur noch um Strahlen von sehr niedriger Temperatur, um dunkle Wärmestrahlen, handelt. Aus diesem herausgegriffenen Beispiel ist klar ersichtlich, dass es für die uns vorliegenden Verhältnisse nicht erlaubt ist, von jenem Gesetze ohne weiteres Gebrauch zu machen.

Eigentliche Versuche über die Grösse der Wärmeausstrahlung gleichwarmer, aber substantiell verschiedener Erdarten mit dem Melloni'schen Apparate und der thermoelektrischen Säule hat v. Liebenberg*) ausgeführt. Aus denselben würde sich eine merkwürdige Gleichheit der verschiedensten und selbst verschieden feuchten Bodenarten für das Ausstrahlungsvermögen dunkler Wärmestrahlen ergeben. Ältere Versuche von Schübler und von Meister begnügten sich damit, die Erkaltungs geschwindigkeit in Gefässen von Eisenblech oder Glas vergleichungsweise zu messen —

*) A. a. O. Es ist zwar später durch exaktere Versuche von C. Lang (Forsch. a. d. Geb. d. Agrikulturphysik, I, p. 379) bewiesen worden, dass die Liebenberg'schen Versuche nicht exakt genug sind. — Die Wärmeabgabe der vom erwärmten Boden aufsteigenden Luftsäule musste bei dessen Aufstellung der Thermosäule stark auf die Resultate influenzieren. — Auch hat Lang selber bei Vermeidung dieses Fehlers deutliche Unterschiede in der Richtung des Gesetzes, dass dunkle Farbe auch die Emission begünstige, gefunden (vergl. namentlich p. 406 a. a. O.). Aber diese Unterschiede sind sicherlich viel kleiner als die bei der Absorption (Ablenkungen der Magnetnadel am Melloni'schen Apparat sind ja auch nicht direkt mit Temperaturgraden zu vergleichen) und für die praktische Bodenkunde bedeutungslos; sonst könnten unmöglich die von Wollny monatelang fortgesetzten Versuche über die Temperaturen verschieden gefärbter Bodenarten das Resultat ergeben haben, dass die dunklen auch im Durchschnitt von höherer Temperatur seien und dass deren grössere Schwankungen lediglich auf Rechnung der höheren Tageswärme und niemals auf die einer geringeren Temperatur bei Nacht gesetzt werden dürfen. (Vergl. namentlich a. a. O., I, p. 61.) So ist praktisch die Korrektur, die Lang an den Liebenberg'schen Versuchen angebracht hat, von geringer Bedeutung und die dunklen Bodenarten bleiben wie vordem hinsichtlich der Bodentemperaturen bevorzugt.

ein Vorgang, für den nicht das Strahlungsvermögen, sondern die Wärmeleitung der substantiell verschiedenen Erden, ferner deren spezifische Wärme, und da sich die Messungen auf gleiche Volumina beziehen, in erster Linie auch noch das spezifische Gewicht derselben in Betracht kommt, der also sehr komplizierter Natur ist und, wie gesagt, keinen Schluss auf das relative Strahlungsvermögen gestattet.

Wir brauchen daher dies Emissionsvermögen nicht weiter als einen die eigentümliche Bodenwärme beeinflussenden Faktor zu berücksichtigen.

Das bisher über das Verhalten des Bodens der Wärme gegenüber Gesagte noch einmal zusammenfassend, können wir also aussprechen, *dass dunkle, spezifisch leichte und wasserarme Bodenarten sich in der Sonne am raschesten erwärmen, und dass wenigstens die letzteren beiden beim Aufhören der Bestrahlung am schnellsten erkalten*; in diese letztere Kategorie gehört auch Erde, die durch Behäufelung der Strahlung mehr zugänglich gemacht ist*). Die dunkeln Böden haben dagegen an sich, namentlich im Sommer, eine erhöhte Durchschnittstemperatur, und das Gleiche gilt auch von den trockenen Böden wegen des Wärmeverlusts bei Wasserverdunstung der nassen. Umgekehrt können wir behaupten, *dass helle, spezifisch schwere und wasserreiche Bodenarten sich in der Sonne am langsamsten erwärmen und dass die letzteren beiden sich in der Nacht am langsamsten abkühlen**)*. Dazu kommt, dass für die feuchten Bodenarten noch ein absoluter Wärmeverlust infolge der Wasserverdunstung in Betracht kommt, *welcher ihre mittlere Temperatur noch weiter herunderdrückt*. Böden, mit einem feuchten Untergrund, in denen fortwährend Gelegenheit gegeben ist zur kapillaren Leitung und Verdunstung, sind wohl die kältesten von allen.

Auf wie tiefe Schichten sich der Temperaturwechsel unter sich verändernden äussern Verhältnissen erstreckt, ist dann ausser von der Grösse dieses Wechsels noch von der Wärmeleitungsfähigkeit des Bodens abhängig, die bei feuchten Böden grösser ist als bei trockenen.

Böden von hoher Durchschnittstemperatur, aber von möglichst geringen Schwankungen, welche also für den Pflanzenbau hinsichtlich der Wärmeverhältnisse am geeignetsten erscheinen, sind *trockene, dunkle***)*, von *hohem spezifischen Gewicht*, wie Basalt-, Melaphyr-, Dolerit-, Thonschiefer-Böden, sowie auch Sandböden in gutem Düngungszustande; und diese Eigenschaften werden noch eine Steigerung erfahren, wenn sie am Südhang gelegen sind. Auch die praktische Erfahrung lehrt, dass solche Böden für die Weinkultur, bei der es in unsern Klimaten vorzüglich darauf ankommt, eine möglichst hohe Temperatur zu erreichen, am meisten sich eignen.

Böden von niedriger Durchschnittstemperatur, aber von grossen Temperaturschwankungen würden solche sein, die mit einer hellen Farbe und grossem Wassergehalte ein *kleines spezifisches Gewicht* vereinigten. Derartige Böden sind zum Glück selten. Am ersten würden diese Eigenschaften gleichzeitig in leichten,

*) Vergl. Wollny: Forschungen a. d. Geb. d. Agrikulturphysik, Bd. III, p. 117.

**) Dies wird auch durch die neueren Wollny'schen Versuche bestätigt, die freilich beweisen, dass dunkle Erden des Nachts nicht wärmer mehr sind als hellere unter übrigen gleichem Umständen.

***) Vergl. auch Senft: Georgika, Bd. I, p. 322.

hellen und feuchten Böden gefunden werden können, die wie gesagt nicht häufig vorkommen. Am kältesten sind wohl im Bereiche des Grundwassers gelegene Thonböden. Am wechselndsten ausgetrocknete Moorböden.

Endlich kann es ein gewisses praktisches Interesse haben, die *absoluten Wärmemengen* kennen zu lernen, welche verschiedene Böden ganz unabhängig von der Temperatur in der Zeit der Ausstrahlung verlieren, denn hiervon wird im wesentlichen die nächtliche Temperatur der oberirdischen Pflanzenteile, z. B. der reifenden Trauben, abhängig sein. Die *grössten Wärmemengen* werden offenbar Bodenarten abgeben, die *bei gleicher Temperatur am meisten Wärme besitzen* (die von grosser spezifischen Wärme) und die *am besten die Wärme leiten*, d. h. also vom Wassergehalt abgesehen, grobe Verwitterungsböden und Sandböden, weniger thonige und noch viel weniger humose Böden. Eigentliche Moorböden liefern im Gegenteil bei der nächtlichen Ausstrahlung infolge schlechter Wärmeleitung und ihrer geringen Masse*) so wenig Wärme für die oberirdischen Pflanzenteile, dass diese in den Frühjahrsnächten eines kühlen Klimas dem Erfrieren ausgesetzt sind. Als praktische Belege hierfür sind die häufigen Frostschäden an Buchweizen und anderen Pflanzen auf Moorböden anzuführen und die Beschränkung derselben durch Aufführen von Sand**).

Bei den vorausgehenden Betrachtungen haben wir noch ausser Augen gelassen, dass der Boden nicht unter allen Umständen selbst die strahlende Oberfläche zu bilden braucht, und hierdurch werden noch einige Modifikationen in dessen Verhalten gegen die Wärme bewirkt, die für den Pflanzenwuchs unter Umständen von Wichtigkeit sind und eine kurze Besprechung erheischen.

Ich habe dabei vor allem die Wirksamkeit einer schützenden Schneedecke vor Augen. Diese letztere ist wegen ihrer äusserst porösen Beschaffenheit, die sie unsern Kleidungsstücken nicht unähnlich erscheinen lässt, ein sehr schlechter Wärmeleiter und verhindert daher eine äussere Abkühlung, sei es nun, dass eine solche durch Ausstrahlung gegen den klaren Himmel oder durch kalte Luftströmungen veranlasst wird, sich bis in die Erde fortzupflanzen. Auf diese Weise werden die im Boden befindlichen oder aus demselben etwas hervorragenden, aber gleichfalls vom Schnee bedeckten empfindlichen Pflanzenteile, z. B. die der Winterfrucht, auch bei sehr grosser Kälte vor dem Erfrieren, bei geringerer vor Wurzelzerreissungen infolge des Auffrierens geschützt, das ohne eine solche Schneedecke häufig eintreten würde. Daher kommt es, dass der Landwirt zu Beginn des Winters den Eintritt des Frostes fürchtet, wenn nicht vorher Schnee gefallen ist***). Eine ähnliche Rolle spielt bekanntlich die natürliche Streudecke und das Moos im Walde†).

*) Die spezifische Wärme von trockenem Humus ist wie oben angegeben nur 0,16 per Volumeneinheit.

**) Vergl. hierüber die Bemerkungen Märcker's u. Landw. Jahrb., Bd. 4, 1875, p. 941. Auch Ebermayer: Forschung. a. d. Geb. d. Agrikulturphysik, 1891, p. 220.

***). Bozet hat (Compt. rend., T. 40, p. 298) Beobachtungen über die Bodenwärme unter Schnee im Vergleich mit der eines von Schnee entblössten Terrains bei einer Lufttemperatur von mehreren Graden unter Null gemacht, woraus der im Text erläuterte Nutzen einer Schneedecke hervorgeht. Später sind dergleichen Versuche mehrfach wiederholt, ohne jedoch neue Gesichtspunkte zu Tage zu fördern.

†) Vergl. Ebermayer: ebenda 14, p. 397.

Neunte Vorlesung.

Die physikalische Beschaffenheit der Ackererde. — Die Bodenwärme. — Die Bodenfeuchtigkeit.

Ausser der Wärme, welche die Ackererde von der Sonne empfängt, aber in so verschiedener Weise verwertet, kommen noch die eingangs der vorigen Vorlesung erwähnten beiden andern Wärmequellen in Betracht, *die Wärme, welche infolge von chemischen Prozessen in der Ackererde entsteht, und die innere Erdwärme.*

Die erstere dieser beiden auf ihre Ergiebigkeit zu untersuchenden Quellen ist neuentstehende Wärme, welche bis dahin nicht als Wärme, sondern in Form von chemischer Spannkraft vorhanden gewesen ist. Unter den Substanzen, die wir in der Ackererde antreffen, besitzen nur *organische Stoffe* solche Kräfte in erheblichem Maassstab, mag nun der Boden unter rein natürlichen Verhältnissen sich befinden, oder mag derselbe eine Düngung empfangen haben; und folglich werden wir nur organische Stoffe als möglicherweise wärmeerzeugend ins Auge zu fassen haben. Von Wärmeerzeugung infolge von Wasserkondensation können wir schon vor einer näheren Besprechung dieser letzteren Erscheinung deshalb absehen, weil dieselbe nur in der schon an sich warmen Zeit eintreten kann, in welcher wir keiner Wärmezufuhr bedürfen.

Organische Stoffe werden eine Wärmeerzeugung auf zweierlei Art bewirken können, einmal durch wirkliche Verbindung mit Sauerstoff, durch eigentliche Verbrennung. Der fortdauernde Sauerstoffverbrauch, die Erzeugung von Kohlensäure, welche man durch Untersuchung der in den Poren der Ackererde enthaltenen Luft leicht beweisen kann, zeigt, dass eine solche Verbrennung thatsächlich stattfindet, und diese Verbrennung, grossenteils unter Einfluss von niedrigen Organismen, muss selbstredend mit Wärmeerzeugung verbunden sein. Zweitens wird eine solche Wärmeerzeugung stattfinden können durch Umlagerung der organischen Substanzen, nach Analogie einer Gärungserscheinung ohne Sauerstoffzutritt. Derartige Erscheinungen treten neben jenen z. B. in einem Misthaufen ein*), der sich in seinem Innern durch einen hierhingehöri gen Vorgang stark erwärmt, scheinen aber mehr den sogenannten hochorganisierten Stoffen, welche sich noch, wie beispielsweise Zucker und Eiweiss, in der chemischen Form befinden, in der sie in den Organismen enthalten sind, eigentümlich zu sein und den schon zersetzten, halbverwesten Substanzen, wie den Humusstoffen, nicht mehr in ausgiebiger Weise zuzukommen. Wärmeentwicklung ohne eigentliche sichtbare Oxydation, wenn auch mit reichlicher Kohlensäurebildung, wird daher auf dem Ackerlande nur im frischgedüngten Zustande eintreten können. Es ist dieser Hinweis nicht ganz bedeutungslos, da gerade dieser Prozess rascher um sich zu greifen, wahrscheinlich durch seine

*) Studien über diese Gärungserscheinungen, wobei grosse Mengen von Sumpfgas erzeugt werden, sind von Dehérain gemacht worden. Vergl. Compt. rend., 1884, T. 98, p. 377.

eigene Wärmeentwicklung erheblicher gesteigert zu werden pflegt als die Oxydationserscheinung, und so mehr Wärme auf einen Schlag zu entwickeln, eine grössere Temperaturerhöhung als diese zu bewirken vermag.

Auch für die Oxydation indessen, welche die im Boden enthaltene organische Substanz der Zerstörung entgegenführt, gilt der Satz, dass sie durch die Erhöhung der Temperatur selbst gesteigert wird, d. h. also, je höher schon die Temperatur ist, eine um so grössere Temperaturerhöhung ist sie zu bewirken bestrebt. Wir haben es also in der Wärmeerzeugung durch chemische Prozesse in der Ackererde nicht mit einem regulatorischen Vorgange zu thun, der Temperaturextreme mässigt und namentlich bei niedriger Temperatur, wo am meisten Wärmebedarf vorhanden ist, in Thätigkeit tritt, wie dies z. B. mit dem Verbrennungsprozess im Körper des höheren Tieres der Fall ist, sondern mit einem, der erst bei höheren Temperaturen ausgelöst wird und so *die Temperaturextreme verschärft*. Schon hieraus geht hervor, dass die Bedeutung dieser Wärmeproduktion durch die Umsetzung und Verbrennung von organischer Substanz nicht allzu erheblich sein kann.

Dazu kommt weiter die *äusserst geringe Wärmequote*, welche bei der grossen Verteilung der organischen Substanz durch die Ackererde und deren langsam verlaufende Zersetzung auch nach einer frischen Stallmistdüngung auf die Zeiteinheit fällt. Unsere Vorstellung von der erwärmenden Wirkung verwesender Stoffe ist meistens der Wahrnehmung einer sehr gesteigerten Temperatur in einem Misthaufen oder einem Mistbeete entnommen, wo der Verwesungsprozess durch Zusammenhäufung und die dadurch ermöglichte gegenseitige Temperatursteigerung ausserordentlich begünstigt wird. Es ist freilich ganz richtig, genau dieselbe Wärmemenge, die wir so bemerken, muss auch nach Verteilung eines solchen Misthaufens über eine grosse Oberfläche nach und nach zum Vorschein kommen, aber es ist sehr fraglich, ob bei dem nun langsam verlaufenden Prozess, bei den nun ungünstigen Strahlungsverhältnissen von einer erheblichen *Temperaturerhöhung* die Rede sein kann. Man weiss ebenso mit voller Bestimmtheit, dass ein Baumstamm die gleiche Summe von Gesamtwärme entwickelt, ob ich ihn im Ofen verbrenne oder ob ich ihn langsam im Walde vermodern lasse, und doch ist im letzteren Falle eine Wärmeentwicklung kaum bemerkbar, einfach weil sie sich auf eine viel grössere Zeit verteilt. Ganz ähnlich sind die Verhältnisse für die Verwesungserscheinungen in der Ackererde, nur dass hier noch mehr der vergrösserte Raum als die verlängerte Zeit auf Verkleinerung der Wärmequote wirkt. Man berechne einmal die Verbrennungswärme einer Durchschnittsdüngung und der durchschnittlich verbleibenden Wurzelrückstände und verteile die erhaltene Wärmesumme auf ein ganzes Jahr und auf ein ganzes Feld, und ich glaube, dass nicht viel für die Zeiteinheit übrig bleiben wird*), auch wenn man günstige Wärmestrahlungsverhältnisse annimmt und ganz unberücksichtigt lässt, dass die Wärmeentwicklung just zu der Zeit eintreten wird, wo der Boden schon an sich warm ist.

*) Für diese Auffassung sprechen auch vollständig die Temperaturbestimmungen von Peters in Erden, denen vergleichungsweise verwesende Stoffe zugesetzt waren und nicht; vergl. Jahresber. f. Agrik.-Chemie, 1862—1863, p. 6.

Wenn trotz diesem Resultate, das mir um so mehr festzustehen scheint, als es auch schon experimentelle Bestätigung gefunden hat*), dennoch von der erwärmenden Wirkung einer Stallmistdüngung gesprochen wird, so darf diese z. T. nur bildlich genommen werden und soweit sie in Wirklichkeit besteht und z. B. an der frühzeitigeren Schneeschmelze wahrgenommen werden kann, weniger auf Kosten der chemischen Zersetzung des Stallmistes (obgleich dieser ja in diesem Falle beisammenbleibt und so eine beträchtliche Verwesungswärme nicht unmöglich ist), denn auch für kürzere Verwesungszeiten würden jene Berechnungen noch ziemlich ungünstig ausfallen; sondern hauptsächlich auf die Änderungen, die eine solche Düngung für die physikalischen Eigenschaften der Ackererde bewirkt, gesetzt werden. Es kommt hier der Schutz vor nächtlicher Wärmestrahlung, den eine obenaufgebrachte Stallmistdüngung zu geben vermag, hauptsächlich aber die dunkle Farbe in Betracht, welche die verwesenden Bestandteile des Mistes nach kurzer Zeit annehmen, Eigenschaften, die also in mehrfacher Weise für erhöhte Bodentemperatur sorgen.

Die *innere Erdwärme* endlich können wir mit einigen Worten abthun. Dass eine solche Wärmequelle besteht, ist nicht zu bezweifeln und braucht nicht erst aus der plutonistischen Hypothese hergeleitet zu werden, sondern geht einfach aus der bekannten Erfahrung hervor, dass beim Hinabsteigen in die Tiefe der Erdkruste unter allen Umständen eine wenn auch unregelmässige Temperatursteigerung beobachtet werden kann, sobald man einmal den Punkt, bis zu dem die Schwankungen der Sonnenwärme zu dringen pflegen, überschritten hat. Allein es kann ebenso wenig ein Zweifel darüber bestehen, dass bei den ungünstigen Wärmeleitungsverhältnissen der Erdkruste nichts Erhebliches von dieser inneren Erdwärme dem Pflanzenwuchs zu gute kommt. Zudem ist die geringfügige Wärmequelle für alle Böden nahezu gleich ergiebig.

Es ist hier nur eines jener Ausnahmefälle Erwähnung zu thun, wo die gesteigerte Wärmeproduktion infolge eines lokalen geologischen Phänomens dem Pflanzenwuchs zu gute kommt. Man erzählt z. B. von dem „brennenden Berge“ in Duttweiler, unter dem ein Steinkohlenflöz seit Jahren im Brand steht und der infolgedessen eine gesteigerte Temperatur besitzt, dass auf demselben mit Vorteil Kunstgärtnereien betrieben werden, und ähnliches wird zweifelsohne von manchen vulkanischen Gegenden zu berichten sein. Allein dies ist eben ein Ausnahmefall, der das oben Ausgesprochene nur zu bestätigen vermag.

Wir hatten in der letzten Vorlesung hervorgehoben, dass unter denjenigen physikalischen Eigenschaften der Ackererde, welche für den Pflanzenbau von hervorragender Wichtigkeit sind, neben dem Verhalten gegen die Wärme ganz besonders das *Verhalten* derselben *gegen das Wasser* eine Beachtung verdient. Ja, das letztere Verhalten ist zweifelsohne von noch viel grösserer Bedeutung, da trockene und nasse Böden grössere Extreme aufzuweisen pflegen als warme und kalte. Bei der Behandlung dieses Gegenstandes, dem der Rest der heutigen Vorlesung gewidmet sein soll, werden wir manche Parallelstellen zu dem eben dargestellten Verhalten der Wärme gegenüber zu verzeichnen haben, wodurch uns die Raschheit des Überblicks über diese neuen Verhältnisse wesentlich erleichtert werden wird.

*) Fr. Wagner: Wollny's Forschungen, Bd. V, p. 373.

Wie ein Boden durch seine spezifischen Eigenschaften im stande ist, die Temperatur, welche den auf ihm wachsenden Pflanzen zu Gebote steht, sehr wesentlich abzuändern, und man deshalb von warmen und kalten Böden innerhalb eines und desselben klimatisch gleichen Länderstriches zu sprechen berechtigt ist, gerade so vermag er auch die Menge von Wasser, welche er den Pflanzen zur Verfügung stellt, selbständig zu regulieren, und erwirbt sich durch diese spezifischen Eigentümlichkeiten den Beinamen eines *feuchten* oder *trocknen* Bodens innerhalb von Länderstrichen, die genau die gleiche Regenmenge besitzen.

Auch in Bezug auf diese Eigenschaften des Bodens haben wir, wie angedeutet, mehrere ganz verschiedene Faktoren zu unterscheiden, aus denen sich das Gesamtverhalten gegen Wasser zusammensetzt. Wir können als solche nennen: *Die Wasserkapazität*, die *kapillare Wasserleitung* und die *Durchlässigkeit des Bodens für Wasser*.

Das Kondensationsvermögen des Bodens für Wasser, welches seit Schübler lange neben den genannten Eigenschaften seine Stelle gefunden hat, ist endgültig aus der Reihe der nützlichen Bodeneigenschaften zu streichen. Allerdings ist an der Thatsache nicht zu rütteln, dass die meisten trocknen Ackererden hygroskopische Eigenschaften, oft in hohem Maasse besitzen, sondern nur die praktische Verwertbarkeit dieses Vermögens ist auf das Entschiedenste zu bestreiten. In jedem Falle aber bedarf der Gegenstand einer kurzen Erörterung.

Eine grosse Reihe fester Körper hat in sehr verschiedenem Grade die Fähigkeit, gasförmiges Wasser auf ihrer Oberfläche als tropfbare Flüssigkeit niederzuschlagen und mit einer gewissen Widerstandskraft vor der wieder eintretenden Verdunstung zu schützen. Es ist hier nicht unsere Aufgabe, die Wirkungsweise dieses Kondensationsvermögens zu untersuchen; es genügt, zu bemerken, dass die Anziehung, mit welcher wir es hier zu thun haben, grossenteils mit den Adhäsionskräften zu derselben Flüssigkeit im Zusammenhang steht*), mithin als eine Oberflächenwirkung erscheint, und deshalb erst in sehr porösen Körpern erhebliche Werte annehmen kann, die dadurch zu hygroskopischen Stoffen werden.

Wohl zu unterscheiden von diesem spezifischen Vermögen ist die gewöhnliche Taubildung, die beinahe ebenso an dichten Körpern stattfindet, wenn nämlich deren Abkühlung so gross ist, dass die sie berührende Luft mit Wasserdampf übersättigt wird. Die Verwechslung beider Erscheinungen spielt eine grosse Rolle in der Geschichte der Kenntnis des Kondensationsvermögens. Übrigens verhält sich auch das durch jenes besondere Vermögen in porösen festen Körpern verdichtete Wasser genau wie sonst kapillar festgehaltenes Wasser, und es erscheint sehr natürlich, dass man früher annahm, dasselbe könne geradeso von einer Pflanzenwurzel aufgenommen werden wie das durch den Regen oder durch Begiessen in die kleinen Zwischenräume des Bodens gelangte**).

*) Vergl. die wichtige Abhandlung von W. Thomson: Lond., Edinb. u. Dubl. Philos. Magaz., 1871, II, p. 448; auch meine Ausführungen: Landw. Jahrb., Bd. III, 1874, p. 785.

**) Der Beweis dieses Verhaltens schien durch einen sehr einfachen Versuch beigebracht zu sein. J. Sachs (vergl. dessen Handb. d. Exper.-Physik d. Pfl., p. 174) hatte gezeigt, dass man in Blumentöpfen wachsende Pflanzen durch lange Perioden hindurch ohne Begiessen

Versuche, ob natürliche und künstliche Bodengemische, wenn sie durch Pflanzen an Feuchtigkeit soweit erschöpft sind, dass diese stark notleiden, in diesem Zustande, wo sie noch ansehnliche Mengen von Wasser in sich einschliessen, ein Kondensationsvermögen besitzen, haben dagegen einer anderen Anschauung Platz gemacht.

Das potentiell bestehende Kondensationsvermögen trockener Ackererden kommt unter den realen Verhältnissen zum Wohl der Pflanzen nicht oder nur selten in Betracht*), weil diese im Verlaufe einer Periode grosser Trockenheit schon viel zu weit heruntergekommen sind, um davon Nutzen zu ziehen, noch ehe die Erden auf dem Kondensationspunkt angekommen sind. Es steht damit wie mit einer wohlthätigen Sammlung zur Zeit einer Hungersnot, nachdem dieselbe schon ihre Opfer gefordert hat**). Was helfen die in Wahrheit vorhandenen wohlthätigen Bestrebungen, wenn sie naturgesetzlich erst post festum sich regen? — Im Gegenteile finden wir durch den Versuch, dass eine Ackererde *ceteris paribus* um so *weniger* Wasser den in ihr wurzelnden Pflanzen zur Verfügung stellt, je *grösser ihr Kondensationsvermögen* ist, so dass man versucht sein könnte, diese Grösse oder vielmehr den bei der Verdunstung der Pflanzen noch gehegten Wasserrest, der aber in einer bestimmten Beziehung zu jener steht, als einen ungreifbaren, toten Fonds von dem

völlig turgeszent erhalten kann, wenn man eine hygroskopische Bodenart wählt und diese durch eine leicht zu bewerkstelligende selbstverständliche Vorrichtung in eine nahezu dampfgesättigte Atmosphäre bringt, die oberirdischen Pflanzenteile aber ausserhalb derselben lässt. Trotz der unter diesen Umständen ganz erheblichen Transpirationsgrösse scheint doch das so verbrauchte Wasser durch Kondensation von Wasserdampf durch den Boden gedeckt werden zu können. — Das Resultat dieses Versuchs schien dann ausserdem bestätigt zu werden durch die jährliche Wasserbilanz einer natürlichen Ackerfläche, insofern diese wahrscheinlich machte, dass die Regenmenge, welche auf eine Ackerfläche niederfällt, obgleich sie weitaus nicht völlig von den auf dieser wachsenden Pflanzen ausgenutzt werden kann, ein geringeres Wasserquantum repräsentiert, als auf derselben Ackerfläche von diesen Pflanzen verdunstet wird. Vergl. Schleiden: Für Baum und Wald, 1870, p. 46; ferner Pfaff: Naturforscher, 1871, p. 85, auch Landw. Versuchszt., Bd. 15, p. 103. Aus alledem schien übereinstimmend zu folgen, dass die wasseranziehende Kraft des Bodens auch für unsere wasserreichen Klimate notwendig als ein Faktor der Wasserzufuhr für die Pflanzen mitwirkt. — Die bekannte Kondensationshypothese des Geologen Volger, der sogar die Quellenspeisung auf diesem Wege erklären wollte, ist als von E. Wollny in Forsch. a. d. Geb. d. Agrikulturphysik, 1891, p. 158 widerlegt zu betrachten und auch die Ebermayer'schen Folgerungen sind sehr abweichend von denen Volger's.

*) Diese Schlussfolgerung des Verfassers aus dem Jahre 1874 hat seither meist die Bestätigung der Fachgenossen gefunden. Die Opposition Hilgard's (Centralbl. f. Agrikulturchemie, 85, p. 594) läuft im Grunde darauf hinaus, dass der krümelige Zustand des ausgetrockneten Obergrunds, in welchem derselbe auch Kondensationsvermögen besitzt, die californischen Pflanzen vor dem Verbrennen schützt, während sie in Wahrheit das Wasser mit Hilfe tiefgehender Wurzeln aus dem Untergrunde beziehen. Doch gebe ich zu, dass für die Komplikation, die von Hilgard ins Licht gestellt wurde, der von mir als entscheidend angesehene Versuch an Beweiskraft Einbusse erleidet.

**) Damit ist natürlich nicht geleugnet, dass Taubildung im Boden statthaben kann, und soll nicht den Resultaten der einschlagenden Ebermayer'schen Versuche entgegengetreten werden (Forsch. a. d. Geb. d. Agrikulturphysik, Bd. XIII, p. 1). Aber diese Taubildung, wenn sie existiert, ist keine spezifische (nur bestimmten Erdsorten eigentümliche) Bodeneigenschaft.

Wasservorrat einer Ackererde in Abzug zu bringen*). Allein diese Korrektur hat wenig praktische Bedeutung, da durch ein scheinbar merkwürdiges, im Grunde aber doch natürliches Zusammentreffen die am stärksten kondensierenden Ackererden auch meistens die von grosser Wasserkapazität sind, und es vermutlich Verwirrung anrichten würde, wollte man diese Bodenarten wegen einer im Grunde doch nicht sehr ausgiebigen Korrektur mit einem Makel in Bezug auf die Wasserversorgung belegen.

Hieraus ergeben sich natürlich auch Folgerungen für die Wasserbilanzen ganzer Ackerflächen**). Im Durchschnitt wird ohne alle Widerrede von einer jeden Ackerfläche wahrscheinlich in den allermeisten Klimaten ungleich mehr verdunstet als kondensiert, und wenn eine oberflächliche Bearbeitung den Boden in trockenen Perioden erstaunlich feucht erhält, so geschieht dies eben durch Abschwächung der ersteren, nicht durch Beförderung der zweiten Thätigkeit; und ebenso wirkt eine bodenbeschattende Pflanzendecke auf die obersten Bodenschichten. Die Pflanzen sind also im grossen und ganzen in ihrer Transpiration auf das niedergefallene Meteorwasser samt Tau, welcher übrigens grossenteils aus der Erde stammt***), angewiesen und zwar nur auf den Bruchteil dieser Wassermengen, der ihnen nach Abzug der selbständigen Verdunstung der Ackererde und der in den Untergrund abfliessenden Wasser zur Verfügung bleibt†). Soviel über das Kondensationsvermögen.

Wichtiger wie das Kondensationsvermögen ist für uns die früher sogenannte wasserfassende oder wasserhaltende Kraft, welche wir besser als *Wasserkapazität* bezeichnen.

Auf den Doppelsinn des Begriffes einer wasserhaltenden Kraft oder einer Wasserkapazität ist hier von vornherein aufmerksam zu machen, weil die Nichtbeachtung

*) Bestätigung dieser Auffassung durch die Arbeiten von M. Fleischer: Biedermann's Centralbl., 1885, p. 297, und Wollny: Forschungen, 1893, p. 431.

**) In der That hat neuerdings Haberlandt für Getreide sehr viel niedrigere Transpirationsgrössen auf Grund von Versuchen herausgerechnet als früher (siehe die Anm. **) auf p. 131) angenommen. Vergl. Landw. Jahrb., 1876, p. 85. — Das Resultat des eben erwähnten Sachs'schen Versuches muss jedenfalls durch Taubildung innerhalb der Erde, wozu durch unvermeidliche Temperaturschwankungen reichlich Gelegenheit gegeben ist, erklärt werden.

***)) Vergl. E. Wollny: dessen Forschungen, 1892, p. 111, woraus sich ergibt, dass die nützlichen Wirkungen des Taus auch sehr übertrieben werden.

†) Nach dem geführten Nachweis von der untergeordneten Bedeutsamkeit des Kondensationsvermögens der Ackererde unter den natürlichen Verhältnissen haben natürlich auch die Angaben über die Grösse dieses Vermögens für die einzelnen bodenkonstituierenden Bestandteile das unmittelbare Interesse verloren, und wir übergehen daher jene von Schübler und dann namentlich von Knop mitgeteilten Versuchsreihen mit Stillschweigen. Nur so viel sei erwähnt, dass besonders die sehr porösen organischen Reste des Bodens und in zweiter Linie die thonigen Bestandteile der Ackererde und nicht der Sand oder gar die Gesteinsfragmente der Sitz der selbständigen Wasserverdichtung sind. Bei humosen Erden kann sogar infolge der Kondensation eine sehr merkbare Wärme entwickelt werden. — Neben diesen Substanzen haben wir dann namentlich noch gewisse hygroskopische Salze, wie den salpetersauren Kalk, ins Auge zu fassen, durch deren Zuthat in geringen Mengen man Ackererden ein erhöhtes Kondensationsvermögen verschaffen kann, während Auswaschen mit Wasser dem entsprechend in entgegengesetzter Richtung wirkt (W. Wolf: Landw. Jahrb., II, p. 415).

desselben eine fruchtbare Behandlung verhindert. Da die Erfüllung der engen Hohlräume eines porösen Körpers davon abhängig ist, wie hoch die Wassersäulen sind, die sich möglicherweise bilden können, so ist offenbar die Menge von Wasser, welche in einem solchen Medium festgehalten wird, eine andere, wenn eine höhere oder niedrigere Säule von diesem Medium auf ihre Fähigkeit geprüft wird, Wasser in ihren Poren zurückzuhalten. Wir werden sogleich noch auf die Theorie dieses ganzen Verhältnisses zurückkommen.

Die Bestimmung der Wasserkapazität ist früher in sehr kurzen Säulen von Erde vorgenommen worden und auf solche beziehen sich die älteren Angaben über „wasserhaltende Kraft“; während die Verhältnisse in der natürlichen Ackererde fast durchweg solche sind, dass man es für das Pflanzenwachstum mit den oberen Schichten relativ langer Erdsäulen zu thun hat. Wir können, um einigermaassen historisch zu verfahren, die wasserhaltende Kraft, auf die früher übliche Weise ermittelt, als *grösste* oder *volle Wasserkapazität* bezeichnen und diese zunächst besprechen, welcher sodann eine praktisch ungleich bedeutungsvollere *kleinste* oder *absolute Kapazität* gegenübergesetzt werden soll.

Auf Grund von Bekanntem lässt sich behaupten, wenn man die Wasserkapazität, d. i. die Menge von einer Einheit Erdmasse aufgenommenen Wassers auf gleiche Volumina bezieht, so werden einfach *die Summen der kapillaren Hohlräume der Volumeinheit, ausgedrückt in dem Gewichte der sie erfüllenden Wassermassen, diese Grösse ausdrücken*. Wenigstens wird dieser Satz richtig sein, sofern wir von der auch bei manchen Erden beobachteten Volumveränderung infolge der Anfeuchtung absehen. Bei dieser Ausdrucksweise ist nur noch unklar, was unter kapillaren Hohlräumen zu verstehen ist, denn kapillar bedeutet hier nichts als zur kapillaren Flüssigkeitsaufnahme befähigt, und bekanntlich ist diese Aufnahme abhängig von den Anziehungskräften zwischen Flüssigkeit und Wandsubstanz, so dass notwendig beim Variieren mit der aufzusaugenden Flüssigkeit und der Wandsubstanz auch der Begriff eines Kapillarraums ebenso variieren muss*). — Faktisch liegt nun glücklicherweise die Sache wesentlich einfacher, obgleich diese Betrachtung für eine einigermaassen gründliche Erörterung des Gegenstandes unerlässlich erscheint. Die in Frage kommende Flüssigkeit ist zunächst nur *Wasser* (oder diesem in Bezug auf Molekularwirkungen sehr nahestehende verdünnte Lösungen), also eine einzige Flüssigkeit; und für diesen vereinfachten Fall lehren die bis dahin über Kapillaraufnahme ausgeführten physikalischen Untersuchungen**), dass, wenn die Wandsubstanz nur *benetzbar* ist, die kapillaren Hubhöhen nur abhängig sind von der

*) Die Abhängigkeit der Wasserkapazität von der Kapillaranziehung erhellt auch daraus sehr deutlich, dass jene, wie Haberlandt gezeigt hat und seither bestätigt worden ist, mit der Temperatur des Wassers sehr abnimmt.

**) Vielleicht sind übrigens diese Untersuchungen für so wichtige Folgerungen nicht ausgedehnt genug. Sie sind auch nicht leicht zu kontrollieren, da man nicht sehr viele Materialien in der Form von durchsichtigen kalibrierbaren Röhren oder ebenen Platten darstellen kann. Der Verfasser ist mit derartigen Versuchen beschäftigt gewesen, zweifelt aber vorläufig nach seinen bisherigen Resultaten an der strengen Richtigkeit des hier adoptierten Satzes.

Weite der verwendeten Röhren, nicht aber von der sonstigen Natur der Wandsubstanz. Man hat wohl gesucht, diese theoretisch kaum vorauszusehende Thatsache sich so zurecht zu legen, dass man annahm, in einer jeden benetzungsfähigen Röhre würden zunächst nur die Wände mit einer sehr dünnen Wasserhaut von sehr grosser Höhe überzogen, in welcher Wasserröhre alsdann erst die eigentliche kapillare Aufsaugung eines massiven Wassercylinders begönne, der nun natürlich gleichen Anziehungskräften unterliegend auch eine gleiche Höhe annehmen müsse.

Wir haben uns hier mit der physikalisch als feststehend geltenden Thatsache abzufinden und allein die Frage aufzuwerfen, ob die gewöhnlichen Ackerbodenkonstituenten benetzungsfähig sind, wörauf wir, von einigen sehr seltenen und praktisch unwichtigen Fällen abgesehen, mit ja antworten können. Folglich würde ein Kapillarraum thatsächlich bei verschieden gearteten Böden einerlei Bedeutung haben. Bei gleichartiger Gestaltung der Gesteinstrümmer und mithin der zwischen ihnen befindlichen Hohlräume ist also die mineralische Natur jener nicht von Bedeutung für die wasserhaltende Kraft. Wir können diesen Satz auch wie folgt formulieren:

1. *Die volle Wasserkapazität feiner erdartiger Gemische ist lediglich eine Funktion der relativen Raumerfüllung der festen Bodenelemente.*

Praktisch wird sich also bei einem feinen Bodengemische, das also lediglich kapillare Hohlräume von solcher Enge in sich einschliesst, dass bis oben hin die Schwere des Wassers durch die Adhäsionskräfte überwunden wird, die Wasserkapazität auf das Volum — sie auf gleiche Gewichte zu beziehen, giebt ohnehin ein schiefes Bild von der Sache*) — einfach *aus dem spezifischen Gewicht der einzelnen Bodenelemente* (d. i. das spezifische Gewicht des Bodens nach der gewöhnlichen Ausdrucksweise) und aus dem *scheinbaren spezifischen Gewicht des Bodens* (auch genannt dessen Volumgewicht) berechnen lassen. Die letztere Grösse von der ersteren abgezogen, giebt eben die Summe jener Hohlräume an, gemessen an dem spezifischen Gewicht der Bodenelemente. Wenn wir also die so erhaltene Differenz durch diese letztere Grösse dividieren, so haben wir die Wasserkapazität selber. Wenn C die Wasserkapazität ist, G das scheinbare spezifische Gewicht des Bodens, G_1 das wirkliche der Bodenelemente, so ist:

$$C = \frac{G_1 - G}{G_1} = 1 - \frac{G}{G_1}.$$

*) Der Schöpfer unserer bisherigen Anschauungen über das Verhalten der Ackererde gegen Wasser, Schübler, hat noch ein erhebliches Gewicht auf die Volumbeziehung gelegt, und nur von den Nachfolgern ist dieser Gesichtspunkt leider mehr und mehr in den Hintergrund gedrängt worden. Vergl. Schübler: Grunds. d. Agrikulturchemie, 1838, p. 66. Nur ein Vorteil ist vorhanden bei der Beziehung auf das Gewicht, nämlich dass diese Einheit konstant bleibt, während das Volum vieler Böden, namentlich der thonhaltigen, sich während des Versuchs etwas ändert. Dem gegenüber steht, dass die Volumgewichte der natürlichen Ackererden sehr weit auseinandergehen. Um einige typische Zahlen zu nennen: Sandboden (lufttrocken) 1,5, Kleyboden 1,2, Moorboden 0,8, beiläufig gesagt, sehr wenig in Übereinstimmung mit dem, was der Praktiker schweren und leichten Boden (nach der Schwierigkeit bei der Bearbeitung) nennt. Wenn nun die Wasserkapazität eines Moorbodens auf das Gewicht berechnet wird, so scheint sie gegenüber einem Sandboden doppelt so hoch, als sie in Wirklichkeit ist — ein Umstand, der für die Wahl der Volumbezeichnung völlig den Ausschlag giebt.

Am meisten empfiehlt sich dabei die prozentische Ausdrucksweise, wonach der gefundene Ausdruck mit 100 zu multiplizieren wäre. — In Volumina ausgedrückt ist die so berechnete Wasserkapazität unabhängig von dem spezifischen Gewichte der Bodenelemente, da die Grösse G der Grösse G_1 proportional ist.

Mit dieser berechneten Wasserkapazität lässt sich, wie gezeigt worden*), die Erfahrung in guten Einklang bringen, indem bei verschiedenen Mineralpulvern die Rechnung mit dem Ergebnis der Versuchsanstellung genügend übereinstimmt. Durch sehr einfache Versuche lässt sich dann auch der folgende Satz erhärten:

2. *Die volle Wasserkapazität erdartiger Gemische steigt im allgemeinen mit der Feinheit des Pulvers*, weil der Zufall hier seltener die günstigste geometrische Ineinanderfügen gewährt, *ferner mit der gleichmässigeren Korngrösse des Pulvers*, weil hierbei eine Zwischenlagerung kleinerer Teilchen nicht möglich ist, *endlich natürlich mit der Porosität der festen Elemente*.

Die Verschiedenheit der vollen Wasserkapazität für Feinerden kann also nur aus drei Gesichtspunkten erklärt werden. Entweder durch *verschiedene Feinheit der Bodenelemente*. Feine Partikelchen sind schwieriger zur günstigen Aneinanderlagerung zu bringen. Aus diesem Grunde werden Thonböden, deren Elemente durch chemische Verwitterung in feinste Trümmer zerschlagen sind, eine etwas grössere volle Wasserkapazität zeigen als feine Sandböden.

Oder durch *ungleichartige Mischung verschiedener Korngrössen*, weil die kleineren Teilchen sich in die grösseren Lücken hineinlagern. Aus diesem Grunde werden am Orte ihrer Entstehung verbliebene Verwitterungsböden aus Mengesteinen eine geringere Wasserkapazität zeigen als verschwemmte Böden mit derselben mittleren Korngrösse, also z. B. feinere Sandböden.

Endlich durch *verschieden starke Porosität der Bodenelemente*. Böden, die poröse Teilchen in sich enthalten, werden im allgemeinen eine grössere Wasserkapazität besitzen als solche mit durchaus massiven Teilchen. Hieraus erklärt sich die verhältnismässig grosse Wasserkapazität humoser Böden mit noch unvollständig verwesten Pflanzenresten, Böden aus kalksinterähnlichen Mineralien etc. So beschaffene Böden können — entgegengesetzt der vorhin gegebenen Regel — natürlich durch feine Zertrümmerung an Lockerheit einbüssen und dadurch dann auch die wasserhaltende Kraft eine Einbusse erleiden. Solche Fälle sind mehrfach konstatiert worden**).

Alle diese Umstände sind indessen in der Natur nicht verschieden genug, um die in der Praxis wahrgenommenen sehr grossen Unterschiede in der Fähigkeit natürlicher Ackererde, Wasser zu bergen, hervorzurufen.

Nach Meister absorbierten z. B.:

Thonboden	50,0 % Vol.,
Lehmboden	60,1 " "
Kalkboden	54,9 " "
Humusboden	70,3 " "
Sandboden (82 % Sand)	45,4 " "

*) Landw. Jahrb., Bd. III, 1874, H. 5.

**) Vergl. z. B. A. Vogel: Landw. Centralbl., 1858, I, p. 430.

Diese Zahlen sind zweifellos nicht so verschieden, als die landwirtschaftliche Erfahrung in Bezug auf die Wasserversorgung aus diesen Böden erheischt, und das liegt in der verkehrten Ermittlung der Wasserkapazität.

Nachdem wir so die „wasserhaltende Kraft“ im älteren Sinne des Wortes erörtert haben, ist es an der Zeit, darauf aufmerksam zu machen, dass dieselbe für die praktischen Verhältnisse in der Ackererde nicht allein maassgebend ist. Man hat bisher eine derartige Bestimmung hauptsächlich deshalb vorgenommen, weil die Bestimmung der Wasserkapazität in sehr niedrigen Säulen von Erde am bequemsten war, und man zu beachten unterliess, dass die Höhe dieser Säulen von erheblichem Einfluss auf das Resultat ist. Es ist aber sehr leicht zu ersehen und geht z. T. auch aus unserer bisherigen Darstellung hervor, dass in unserer Ackererde, selbst wenn diese nur bis zur Tiefe einiger Zölle kultiviert sein sollte, der Regel nach sehr hohe Säulen von porösen Medien zur Wirksamkeit kommen. Ausnahmen giebt es freilich, wo z. B. das Horizontalwasser nahe der Oberfläche sich befindet oder wo undurchlässige Schichten vorhanden sind. Ackererden der Art spielen eine ganz besondere Rolle dem Wasser gegenüber und bleiben einstweilen ausser Beachtung.

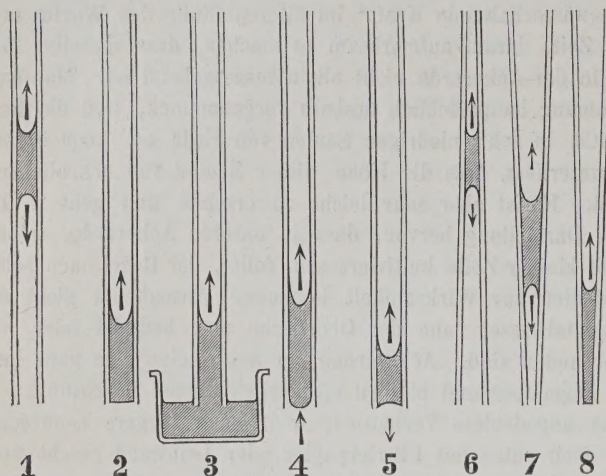
Sehr deutlich wird das angedeutete Verhältnis, wenn man längere senkrecht aufgestellte Röhren, welche nach unten mit Filtrierpapier oder Leinwand geschlossen sind, mit verschiedenen Erden füllt und eine überschüssige Menge von Wasser oben aufschüttet. Man kann dann deutlich sehen (oder im zweifelhaften Falle durch Vornahme von Wasserbestimmungen leicht konstatieren), dass in den untersten Schichten sich kapillare Wassersäulen halten, während sie oben abfliessen. Dies gilt, wie ausdrücklich bemerkt werden muss, nicht allein für den Fall, dass die Röhren unten in Wasser eintauchen, wo das Resultat als ein nach den bekannten Kapillaritätsgesetzen selbstverständliches erscheint, sondern auch bei Vornahme des Versuchs in freier Luft — ein Fall, welcher der praktischen Verhältnisse wegen vorzugsweise ins Auge gefasst werden muss.

Bei dieser Darlegung bleibt indessen gewöhnlich undeutlich, warum die kapillaren Wassersäulen, welche sich in den oberen Hohlräumen nicht zu halten vermögen, in den Hohlräumen der untersten Erdlagen bestehen bleiben. Wird die Erde nach unten zu durch Wasser begrenzt, d. h. stehen die Erdsäulen, die zum Versuche dienen, in dieser Flüssigkeit, so ist die gemachte Folgerung allerdings unmittelbar einleuchtend, weil dieser Zustand der Art und Weise entspricht, wie es gang und gäbe ist, kapillare Wasseraufsaugung in Systemen von Hohlräumen zu ermitteln und demonstrativ zur Darstellung zu bringen. Aber ist die Erde, wie dies bei Versuchen zur Ermittlung der Wasserkapazität in der Regel der Fall ist, nach unten zu durch Leinwand, Papier oder Drahtnetz begrenzt, so will die Sache nicht unmittelbar einleuchten.

Dies gelingt erst, wenn man die folgenden immerhin noch sehr elementaren Betrachtungen über kapillare Aufsaugung und das Gleichgewicht von so festgehaltenen Wassersäulen zu Hilfe nimmt, da die einfachen Konsequenzen derselben, trotz Kenntnis des zu Grunde liegenden Prinzips, eben nicht jedermann gegenwärtig sind.

In einer engen cylindrischen Glasröhre, die aufrecht in Wasser gesetzt wird, steigt bekanntlich diese Flüssigkeit ansehnlich über das Niveau derselben, wie dies

in Figur 3 der nachstehenden Abbildungen veranschaulicht wird. Dabei bildet sich ein hohler (konkaver) Meniskus.



Handelt es sich dagegen um eine Flüssigkeit ohne (genauer im Vergleich zur eigenen Anziehung geringer) kapillare Attraktion für Glas, z. B. um Quecksilber, so nehmen wir unter gleichen Umständen einen niedrigeren Stand in der engen Röhre wahr, und wir sprechen in diesem Falle von Kapillardepression, im Gegensatz zu dem erstgenannten Falle, welchen wir kapillare Steigung nennen. Auch bei der

kapillaren Depression nehmen wir bekanntlich einen Meniskus, eine Abweichung des Flüssigkeitszustandes von der horizontalen wahr, aber derselbe hat eine haubenförmige (konvexe) Gestalt.

Alle diese Dinge sind jedem Anfänger in der Physik wohl bekannt. Ich knüpfe hier nur an dieselben an und nehme für die folgende Erörterung das Resultat mit fort, dass ein hohler Stand der Flüssigkeit ein Merkzeichen ist für einen Zug in der Richtung des Centrums der Meniskushöhlung und dass ein Gleiches bei der haubenförmigen Flüssigkeitsoberfläche der Fall ist. Durch diesen Zug, durch einen Pfeil in der Fig. 3 angedeutet, wird beim Wasser der Schwerkraft der Wassersäule entgegengewirkt. Beim Quecksilber wirkt unter gleichen Umständen diese Zugkraft nach unten, also die Schwerkraft verstärkend. Wenn die Flüssigkeitssäule so lang ist, dass deren Schwere jener Zugkraft gleich ist, dann ist das Gleichgewicht in dem System, das durch Fig. 3 versinnbildlicht wird, erreicht.

Ferner muss ich noch als allgemein bekannt voraussetzen, dass in engeren Röhren die kapillare Steigung resp. Depression weit stärker ist in einem matematich längst festgestellten, aber für unsern Zweck gleichgültigen Verhältnis. In diesem Falle zeigen die Krümmungsflächen einen kleineren Radius. Ein solcher ist mithin ein Symptom für eine stärkere Wirkung, wodurch einer grösseren Flüssigkeitssäule das Gleichgewicht gehalten werden kann.

Wir beschäftigen uns nun mit einem Tropfen, der in einer an beiden Enden freien Glasröhre sich befindet und zwar deshalb, weil dies der Zustand ist, der dem in einem gewöhnlichen, künstlich oder natürlich wohl drainierten Ackerboden, welcher von oben Wasser erhält, entspricht. Ein solcher Tropfen befindet sich in einem Zustande, wie ihn Fig. 1 versinnbildlicht. Wir finden einen hohlen Meniskus nach

oben, einen desgleichen und von derselben Krümmung nach unten, beide eine gleich grosse Zugkraft, aber in entgegengesetzter Richtung wirkend, repräsentierend, deren Gesamteffekt sich mithin aufhebt. Der Tropfen muss mithin, gleichviel eine wie lange Säule derselbe bildet, dem Zuge der Schwere folgend, nach unten fliessen. Der Versuch lehrt, dass dies der Fall ist.

Allein unten in der Röhre angelangt, bleibt dieser Tropfen, wenigstens teilweise, stehen. Hier sind nun verschiedene Fälle zu unterscheiden, die gleichfalls experimentell in wenigen Minuten erörtert werden können. Der einfachste Fall ist der, dass die Flüssigkeitssäule genau der kapillaren Steighöhe in derselben Röhre, wie sie durch Fig. 3 verdeutlicht wird, entspricht. Dann sinkt der Tropfen, vorausgesetzt, dass die erworbene Schnelligkeit der Bewegung die Sache nicht kompliziert, genau bis zum Ende der Röhre, dort eine vollkommene Ebene bildend, vergl. Fig. 2. Dass dies der Fall sein muss, ist theoretisch durchaus deutlich. Denn nur in diesem Falle, wo unten keinerlei Meniskus vorhanden ist, kann der allein übrigbleibende obere Meniskus genau der Schwere der Säule Widerstand leisten. Auch ist durchaus nicht abzusehen, warum das Sinken schon vorher, also z. B. wenn die vorausgeschobenen Ränder der Flüssigkeit das Ende der Glasröhre erreicht haben, innehalten sollte, da in diesem Falle der Antrieb zur Bewegung genau so fort dauert wie zu Anfang der Position, in Fig. 1 verdeutlicht.

Aus demselben Grunde muss unten, wenn die Flüssigkeitsmenge ein wenig zu klein ist, ein hohler, aber schwächer (als der obere) gekrümmter Meniskus übrig bleiben, der in entgegengesetzter Richtung als jener wirkt und daher einen Teil der nach oben ziehenden Wirkung des oberen Meniskus neutralisiert. Fig. 5 deutet diesen Zustand an; und zwar muss das Sinken genau so lange anhalten, bis die Differenz der in entgegengesetzten Richtungen wirkenden Züge der kleineren Schwere der kürzeren Säule gerade gleich ist.

Wieder aus demselben Grunde muss, wenn die Flüssigkeitssäule zu lang ist, um allein durch den oberen Meniskus im Gleichgewicht erhalten zu werden, die Bewegung länger fort dauern als in dem zuerst statuierten Falle. Infolge davon wölbt sich die Flüssigkeit unten tropfenförmig aus der Röhre heraus, wie dies Fig. 4 wiedergibt. Nun aber wirkt dieser haubenförmige Meniskus nach oben zu, also in demselben Sinne als der obere hohle, wodurch einige Wahrscheinlichkeit besteht, dass die vereinigte Wirkung beider die grössere Säule im Gleichgewicht erhält. Ob dies Resultat unmittelbar erreicht wird, hängt wesentlich von der Länge der kapillaren Säule ab. Ist dieselbe zu gross, so fallen zunächst einige Tropfen heraus, um schliesslich einen der drei Gleichgewichtszustände, gewöhnlich den von Fig. 2 oder 4, zu erreichen. Diese einfachen Gesetzmässigkeiten sind, wie gesagt, sehr leicht experimentell zu prüfen.

Aus demselben ist auch schon jetzt leicht zu ersehen, dass dieselben kapillaren Zwischenräume einer feinpulverigen Masse, wie sie die festen Bestandteile der Ackererde darstellen, sich (bei einem Übermaasse von oben aufgeschüttetem Wasser) an der unteren Grenzschicht ganz anders verhalten müssen als weiter oben und zwar ganz ähnlich, wie wenn man die Masse unten in Wasser eintauchte. Von dem letzteren Umstand ist nur die Beschleunigung der Flüssig-

keitsbewegung abhängig. Hiermit ist die Grundlage gegeben für eine begriffliche Scheidung zwischen absoluter und voller Wasserkapazität und für den Versuch, die erstere an Stelle der letzteren als Maassstab für den Wasservorrat in der Erde einzuführen.

Für ein genaueres Verständnis dessen, auf was es bei der Wasserkapazität noch weiter ankommt, wünsche ich den vorausgehenden Betrachtungen noch die folgenden ebenso einfachen hinzuzufügen, welche sich auf den Gleichgewichtszustand kapillar zurückgehaltener Flüssigkeitstropfen beziehen, im Falle die Röhren eine konische Gestalt haben.

Ist der engere Teil der Röhre nach oben gerichtet, wie dies in Fig. 6 dargestellt wird, so bildet der Tropfen nach oben in dem engeren Teil der Röhre einen Meniskus von kleinerem Krümmungsradius als unten im weiteren Teil. Daher ist der kapillare Zug nach oben grösser als der nach unten. Es bleibt eine Differenz übrig, welche der Schwerkraft des Tropfens entgegenwirkt. Gleichgewicht ist also möglich. Ob dasselbe wirklich eintritt, ist natürlich abhängig von dem Verhältnis jener Differenz zur Schwerkraft, also von der mehr oder weniger konischen Form der Röhre und der Grösse des Tropfens. Ist die Form der Glasröhre nach oben zu nur schwach verjüngt, der Wasserfaden lang, so wird eine Bewegung nach unten zu, wie in dem in Fig. 1 vorgestellten Falle, die Folge sein. Tritt die Verjüngung rasch ein und ist die Wassermasse klein, so wird der Tropfen nach oben rücken.

Wir begreifen hieraus den Zustand von Wasser in einem Gemische, wie die Ackererde sie darstellt, und in welchem sich naturgemäss zwischen den einzelnen Teilchen, ganz abgesehen davon, dass diese Teilchen selber häufig noch poröse sind, grössere und kleinere Zwischenräume bilden, die wie Kapillarröhren wirken. Aus den sehr engen Zwischenräumen wird kein Wasser in die plötzlich sich erweiternden Räume rücken. Wohl aber wird häufig das Entgegengesetzte selbst nach oben zu stattfinden.

Setzt man das engere Ende der Röhre nach unten, so wird die Differenz der kapillaren Bewegungsgrössen natürlich auch nach unten zu, also im Sinne der Schwerkraft wirken. Der Zustand, welcher in Fig. 7 zur Darstellung gebracht ist, wird bald in den von Fig. 8 übergehen. Dieser Zustand ist ganz ähnlich dem von Fig. 2, nur dass der grösseren Enge der Röhre auch eine längere Flüssigkeitssäule entspricht, die auf diese Weise balanciert werden kann. Natürlich kann auch ein Gleichgewichtszustand eintreten, der dem in Fig. 4 oder 5 dargestellten Zustande entspricht. Immer wird aber der Tropfen, das enge Ende nach unten gewendet, bis zu diesem Ende abfliessen, während bei der umgekehrten Lage der Tropfen im Gleichgewicht erhalten werden oder gar nach oben rücken kann.

Hieraus folgt zugleich, dass es, was den Rest von Flüssigkeit anlangt, der unten in Röhren oder andern kapillaren Hohlräumen ohne abzufließen stehen bleibt, weniger auf die unteren Menisken ankommt, die ja doch bei der Erlangung des Gleichgewichtszustandes mehr oder weniger verschwinden, als vielmehr auf die oberen Menisken, die ja die Länge der stehenbleibenden Flüssigkeiten bestimmen. Es wird mithin für die gemessene Grösse der vollen Wasserkapazität weniger entscheidend sein die Natur der Scheidewand, welche die Erde am Herausfallen verhindert, Draht-

netz, Papier, Leinwand, als hauptsächlich die Struktur der Erde selber. Durch die Art der Scheidewand werden nur die Formen der unteren Menisken bestimmt, die, wie oben gezeigt, beinahe ganz verschwinden.

Während also in den höheren Schichten einer grösseren Erdmasse, bis zu welcher kapillare Wassersäulen nicht mehr hinaufragen, eine grosse Unabhängigkeit von der Natur und den Zufälligkeiten des unteren Abschlusses sich zeigt und dasselbst auch unabhängig von den weiteren Verschiedenheiten der Höhe eine nahezu konstante Wasserkapazität gefunden wird, ist dies für die untersten Schichten nicht der Fall.

Nach dem Gesagten ist nun leicht zu verstehen, warum wir neben einer Wasserkapazität, in der erst besprochenen Weise ermittelt, eine *absolute* oder *kleinste Wasserkapazität* zu unterscheiden haben, welche oberhalb der Ausdehnung jener kontinuierlichen kapillaren Wassersäulen festgestellt werden muss. *Absolut*, weil sie im wesentlichen nur abhängig ist von der Natur des das Wasser zurückhaltenden porösen Mediums, — *kleinst*, weil sie das Minimum von Wasser ist, welches von ihm unter allen Umständen beim Darbieten eines Überschusses festgehalten wird*).

Worauf dabei besonders hingewiesen werden muss, das ist der praktische Wert der Ermittlung dieser absoluten Wasserkapazität, weil auf den in guter Kultur stehenden Ackerflächen die Verhältnisse ganz augenscheinlich so liegen, dass im wesentlichen von dieser Eigentümlichkeit die Ausnutzung einer gefallenen Wassermenge abhängig ist**).

*) Neuere Versuche von Wollny und Heinrich (siehe dessen II. Bericht d. Versuchstation Rostock, 1894) haben freilich gelehrt, dass auch die Bestimmung der kleinsten Kapazität keine genau übereinstimmende Zahlen liefert, sondern dass diese in längeren Erdsäulen kontinuierlich nach oben kleiner werden. Aber einerseits sind diese Unterschiede schliesslich nicht mehr gross und beinahe verschwindend gegenüber den Fehlern, die früher bei der Bestimmung der fraglichen Grösse gemacht wurden; andererseits hat die ganze Erörterung mehr eine theoretische wie eine praktische analytische Bedeutung, da Agrikulturchemiker, welche die Ursache der Erscheinung erkannt haben, sich überhaupt nicht mehr viel mit wirklichen Versuchen, die Kapazität zu bestimmen, im einzelnen Falle abgeben, diese vielmehr aus den übrigen Eigenschaften des betreffenden Bodens ableiten werden. Also auch darum haben die geringeren Abweichungen keine sehr erhebliche Bedeutung. Für wirkliche Wasserkapazitätsbestimmungen ad hoc wurde durch Heinrich die Untersuchung des Ackerbodens in seiner natürlichen Lage draussen auf dem Felde selber vorgeschlagen (vergl. a. a. O., p. 64), was freilich umständlich ist, aber mehr der Natur der Dinge entspricht als die bisherigen Laboratoriumsversuche. Derselbe Vorschlag auch in betreff der Durchlüftung der Ackererde.

**) Für einige Bodenelemente wurde die absolute Wasserkapazität von mir bestimmt. Glasröhren von etwa 1,7 cm Weite wurden unten mit Leinwand zugebunden und einen Meter hoch mit den Gesteinspulvern, die mässig festgerüttelt wurden, angefüllt. Die Glasröhren bestanden aus zwei Stücken, welche mit einem kurzen Stück Kautschukröhre aneinander befestigt wurden. Das untere Stück war nahe 0,75 m lang, so dass noch 0,25 m des oberen Stückes mit Pulver angefüllt war. So beschickt wurde rasch viel Wasser oben aufgegossen und zwar so viel, dass vorübergehend die Gesamtwasserkapazität der ganzen Erde in Anspruch genommen war. Dann wurde gewartet, bis das überschüssige Wasser völlig abgeflossen war, sogleich der Kautschukverband geöffnet, dort von der befeuchteten Erde herausgenommen, gewogen und nach dem Trocknen bei 100° wieder gewogen. Die so auf das Gewicht sich

Was dann den praktischen Wert dieser Begriffsunterschiede angeht, so erscheint derselbe allerdings nicht gar gross, wenn man nur mit sehr feinen Bodenarten zu thun hat, bei denen die Bestimmung auf die eine oder die andere Weise nicht viel dazu beiträgt, die Resultate zu verändern. Die Bestimmung der absoluten Wasserkapazität tritt aber in ihr Recht, sobald man zu groben sandigen und kiesigen Bodenarten übergeht. Sie zeigt in diesem Falle die jedem Praktiker geläufigen Unterschiede für die verschiedenartigen Bodenarten, welche bisher grösstenteils nur auf künstliche Weise (wie durch Zugrundelegen des Gewichts als Einheit) konstruiert werden konnten; und es leuchtet ein, wie gross die Unterschiede z. B. für Sand- und Thonböden, für welche Meister nach seinen zuverlässigen Bestimmungen der vollen Wasserkapazität gar keine durchgehenden Unterschiede auffinden konnte, ausfallen werden.

Um einen wirklichen Einblick in die Wasserkapazitäten der gewöhnlichen Böden zu erhalten, genügt die Angabe für die folgenden Typen.

Kleinste Wasserkapazität von:

Humusboden	± 55 % Vol.)*
Thonboden	± 53 „ „
Sandboden, feiner (auch Kalksand)	± 30 „ „
„ grober (auch steinige und kiesige Böden)	± 10 „ „

Die gemengten Bodenarten haben natürlich dazwischenliegende Zahlen.

Endlich möchte ich darauf hindeuten, dass die absolute Wasserkapazität noch eine andere praktische Bedeutung besitzt, die nicht sogleich ins Auge fällt. Diejenigen Hohlräume nämlich, welche bei der Sättigung der Erde mit Wasser leer bleiben, werden natürlich mit Luft erfüllt sein, und die Grösse dieser Räume in der Volumeinheit der Erde wird ein Maass derselben, zumal in feuchten Klimaten, wo es sich häufig um eine Ausnutzung der Wasserkapazität handelt, für die Durchlüftung abgeben und damit für eine Reihe wohlthätiger direkter und indirekter Einflüsse auf die Vegetation. Wenn wir das Volumgewicht der trockenen Erde zugleich mit der absoluten Wasserkapazität von dem Volumgewicht der nassen Erde abziehen, so erhalten wir eine Zahl, welche jene lufteerfüllten Hohlräume in Wassergewichten misst, also zugleich die Anzahl von Kubikcentimetern Luft darstellt, welche in der Volumeinheit Boden im Minimum nach einer vollkommenen Anfeuchtung noch vorhanden ist. Man kann diese komplimentäre Grösse als *Luftkapazität* bezeichnen **).

ergebende Wasserkapazität wurde dann mit Hilfe des Volumgewichts des Pulvers auf die Volumeinheit umgerechnet. Details und Vorsichtsmaassregeln findet man in den Forschungen a. d. Geb. d. Agrikulturphysik, Band III, p. 150, eine exaktere Methode von Wollny daselbst 1885, p. 186, beschrieben. Aus den vielfach variierten Versuchen dieses Forschers geht auch hervor, dass die Zeit, nach welcher man den Wassergehalt ermittelt, keineswegs ganz gleichgültig ist, indem das oben aufgegossene Wasser nachträglich noch weiter sinkt.

*) $\pm$ ist das in Holland übliche praktische Zeichen für „ungefähr“.

**) Übrigens kommt der praktische Agrikulturchemiker, wie gesagt, selten in die Lage, die eine oder die andere dieser Bestimmungen wirklich auszuführen, da man durch den blossen Anblick oder direkte Humus- und Thonbestimmungen eines Bodens einen genügenden Einblick darüber

Was die Beeinflussung der Bodenfruchtbarkeit durch die Wasserkapazität angeht, so kann ungefähr folgendes gesagt werden:

Die Wasserkapazität wirkt freilich nicht regulierend (sie drückt ja nur die Grösse aus, mit der eine Bodenart den gefallenen Regen, namentlich auch die Niederschläge in der Jahreszeit, wo das Pflanzenwachstum stillsteht, auszunutzen vermag) und es ist von vornherein klar, dass eine grosse Wasserkapazität des Bodens in einem regnerischen Klima, in einer feuchten Jahreszeit vielleicht schädlich wirken mag, während sie im allgemeinen und besonders in einer regenarmen Gegend oder Periode nur nützlich ist.

Die Möglichkeit einer schädlichen Wirkung ist schon aus dem soeben angedeuteten reziproken Verhältnisse zur Luftkapazität deutlich. Um aber ein vollständiges Urteil zu haben, ist es nötig, etwas näher auf die Nachteile einzugehen, die eine zu grosse oder eine zu geringe Menge von Wasser in der Ackererde zur Folge haben. Die Nachteile, welche eine zu grosse Trockenheit der Ackerkrume für den Pflanzenbau mit sich bringt, liegen auf der Hand. Kennen wir ja doch aus unseren Untersuchungen im theoretischen Teil dieses Werks die hohe und mannigfaltige Bedeutung des Wassers für das Pflanzenleben. Dasselbe ist nicht bloss Nahrungsmittel der Gewächse, sondern auch das unentbehrliche Transportmittel für weitaus den grössten Teil aller andern pflanzlichen Nährstoffe, und sogar die Produktion von organischer Trockensubstanz ist innerhalb gewisser Verhältnisse von der Menge zugeführten Wassers abhängig*). Es ist daher nicht nötig, auch nur ein Wort mehr über die Schädlichkeit einer hervorragenden Trockenheit einer Ackererde für den Pflanzenbau zu verlieren.

Um so merkwürdiger erscheint uns auf den ersten Blick die Möglichkeit eines schädlichen Wasserüberflusses. Wissen wir doch, dass — ganz abgesehen von der Lebensweise vieler Sumpfpflanzen — unsere Kulturgewächse ganz vortrefflich fortgebracht werden können, wenn man sie in wässrigen Lösungen geeigneter Zusammensetzung erzieht, wo also ihre ganze Wurzel einzig und allein mit tropfbarer Flüssigkeit in Berührung ist und feste Erdteilchen ganz und gar ausgeschlossen sind.

gewinnt, ob derselbe eine grosse Wasserkapazität besitze, und die Luftkapazität steht zu dieser Grösse ja in direkter (umgekehrter) Beziehung. Auch fehlen uns noch zu sehr die nötigen Vorkenntnisse in Bezug auf das spezifische Bedürfnis der einzelnen landwirtschaftlichen Gewächse an Wasser einerseits und Luft andererseits, um derartigen Beurteilungen schon jetzt grossen praktischen Wert zu verleihen. Dass in dieser Beziehung grosse Unterschiede bestehen und dass in Bezug auf den unterirdischen Luftbedarf der Tabak zu oberst, der Reis zu unterst in der Reihe steht, ist ja mit Händen zu greifen. Aber die optimalen Ziffern für eine jede Pflanze zu kennen, ist offenbar die Aufgabe, welche man sich auf diesem Gebiete stellen muss. Der Verfasser hat in dieser Richtung durch zweijährige Versuche mit den vier gewöhnlichen Getreidearten einen Anfang gemacht und wenigstens festgestellt, dass die Reihenfolge, in welcher diese dankbar sind, für Luft im Boden ist: Gerste, Roggen, Weizen, Hafer, was mit der praktischen Erfahrung gut übereinstimmt. Nach den Hellriegel'schen Versuchen gehört offenbar auch Buchweizen zu den luftbedürftigen Pflanzen.

*) Vergl. z. B. die Kreusler'schen Assimilationsversuche, im ersten Teile dieser Vorlesungen p. 19 citiert.

Indessen kann uns auf die Dauer nicht verborgen bleiben, dass die Verhältnisse in einer solchen Nährstofflösung wesentlich anderer Natur sind als in einer mit Wasser übersättigten Ackererde, einfach weil dort die Aufmerksamkeit des Versuchsanstellers dafür Sorge trägt, dass die Übelstände, welche hier unfehlbar zu Tage treten, beseitigt werden. Als solche Übelstände machen sich kenntlich *die durchschnittlich niedrige Temperatur*, welche nassen Bodenarten nach unsern Auseinandersetzungen in der vorigen Vorlesung eigentümlich ist und die überall da für das Pflanzenwachstum schädliche Folgen haben wird, wo es sich um kühle Klimate und wärmebedürftige Kulturen handelt; weiter *die grosse Verdünnung der Nährstofflösungen im Boden*. Dann ist in einer mit Wasser stets gesättigten Ackererde, in der alle Poren mit Wasser gefüllt sind und keine mehr für die Cirkulation von Luft übrig bleiben, der Zutritt des Sauerstoffs mehr oder minder ausgeschlossen oder, wie wir das soeben ausgedrückt haben, es ist keine genügende Luftkapazität vorhanden. In den mit Wasser durchtränkten Böden fehlt also für manche Pflanzen dieselbe zur Unterhaltung der relativ ziemlich erheblichen Wurzelatmung; ausserdem schlägt die Verwesung der in der Erde enthaltenen organischen Substanzen eine schädliche Richtung ein. Es bilden sich saure Humuskörper, welche, soweit sie selber löslich sind, zur Auslaugung der Böden an Pflanzennährstoffen beitragen, dabei werden gleichzeitig Eisenoxysalze reduziert zu Oxydulsalzen — Veränderungen, wie wir sie z. B. in den Moorböden antreffen und von denen wir soviel mit Gewissheit sagen können, dass sie von den meisten unserer Kulturgewächse nicht ertragen werden.

Die geschilderte Erscheinung ist in der Praxis nur zu gut bekannt. Eine Wiese, die an irgend einer Stelle dauernd mit Wasser durchtränkt ist, zeigt an derselben eine ganz andere, schon von weitem zu erkennende Vegetation, die der „sauren“ Gräser — nach den Eigenschaften des Bodens, auf dem sie wachsen, so genannt. Diesen Gräsern, denen meist nur ein geringer Futterwert*) zukommt, ist also die so veränderte Beschaffenheit des Bodens nicht schädlich. Ebenso gedeiht von den Kulturgewächsen der Reis und auch wohl das Zuckerrohr auf einem solchen mit Wasser imprägnierten (sumpfigen) Terrain, z. T. weil diese Pflanzen in den weiten Hohlräumen ihrer Stengel und Wurzeln einen genügenden Vorrat von atembarer Luft antreffen; alle übrigen Kulturpflanzen und also alle unsere heimischen Kulturgewächse gehen in einem solchen zu Grunde.

Aus dieser Darstellung ist erkenntlich, dass auch ein Übermaass von Wasser im Boden schädlich zu wirken vermag. Die Eigenschaft eines Bodens, sich beim Regen sehr vollkommen mit Wasser zu sättigen, erscheint somit als ein zweifelhafter Vorteil, und man sollte meinen, dass es ganz von klimatischen Bedingungen und

*) Einen Zusammenhang zwischen diesem geringen Futterwerte mit der Eigenschaft, bei Ausschluss der Luft leben zu können, hat auf den Rat des Verfassers E. Freiberg aufzuspüren unternommen. Die betreffende Arbeit (vergl. Landw. Versuchsst., Bd. 23, p. 463) ist indessen nicht zum völligen Abschlusse gekommen. Übrigens giebt es unter den „sauren“ Gräsern auch solche von grösserem Futterwerte und muss ein Teil des geringeren Kulturwertes versumpften Graslandes dem geringeren Ertrage solcher Pflanzen zugeschrieben werden, welcher mit der kürzeren Vegetationsperiode derselben im Zusammenhang steht. Vergl. die Abteilung Düngerlehre dieses Buches, Vorlesung 10.

örtlicher Lage abhängen müsse, ob in dieser Eigenschaft ein Vorteil oder ein Nachteil zu ersehen wäre. Indessen ergibt die praktische Erfahrung, dass selbst in einem von Natur so feuchten Land wie Holland die Wasserkapazität der natürlichen Erden niemals so gross wird, dass allein dadurch etwas von diesen geschilderten Übelständen eintreten könnte, was offenbar daher rührt, dass nur selten der Regen so sehr die Überhand hat über die Transpiration und die übrige Verdunstung, dass die Wasserkapazität völlig gesättigt werden könnte. Die Schädigung tritt erfahrungsgemäss erst dann ein*), wenn durch die Anwesenheit von undurchlässigen Schichten *stehendes* Wasser im Boden erscheint — ein Gegenstand, den wir in der folgenden Vorlesung mit in das Bereich unserer Betrachtungen ziehen wollen. Immerhin wird ein und derselbe Wasservorrat, gegeben in einer mächtigen Ackerkrume von etwas geringerer Wasserkapazität, demselben in einer dünnen Lage von sehr grosser Kapazität vorzuziehen sein.

Zehnte Vorlesung.

Die physikalische Beschaffenheit der Ackererde. — Die Bodenfeuchtigkeit. — Bodenorganismen.

Unter *Durchlässigkeit* des Bodens für Wasser versteht man die Filtrationsfähigkeit, welche es verhindert, dass ein Boden sich über seine Wasserkapazität hinaus mit Wasser sättigt.

Einzelne konstituierende Bestandteile der Ackererde haben nämlich im reinen Zustand die entgegengesetzte Eigenschaft und teilen dieselbe manchen Bodenarten mit, welche vorwiegend diesen Bestandteil enthalten. Reiner *Thon* hat bekanntlich die eigentümliche Fähigkeit, mit etwas Wasser zusammen eine sogenannte „plastische“ Masse zu bilden, eine Masse, welche die eingeschlossenen Wasserteilchen mit solcher Energie festhält, dass es auch einem sehr bedeutenden hydrostatischen Drucke nicht gelingt, dieselben durch andere Wasserteilchen zu verdrängen. Ähnliche Eigenschaften der Undurchlässigkeit sind auch bei torfartigen Humusmassen gefunden worden. Jedenfalls hängt diese Eigenschaft mit der grossen Enge der Poren zusammen; denn es ist bekannt, dass auch Quarz und andere Mineralien, wenn sie nur genügend fein sind, etwas ganz Ähnliches, wenn auch in geringerem Grade, bewirken — dass Böden von sehr verschiedener Korngrösse, wodurch ein Ineinanderlagern der Teilchen möglich gemacht wird, weniger durchlässig sind als solche von gleichmässiger, sei es auch feiner Korngrösse und endlich dass ein und derselbe thonige Boden um so undurchlässiger wird, je enger sich seine Teilchen aneinander schliessen; und vermutlich kann selbst die Undurchlässigkeit als der

*) Theoretisch allerdings früher, wie u. a. aus den von Hellriegel angestellten Versuchen hervorgeht, welche beweisen, dass bei einer mittleren Sättigung der Wasserkapazität die Kulturpflanzen am besten gedeihen. Allein unter praktischen Verhältnissen wird eben nur an einzelnen regnerischen Tagen die ganze Wasserkapazität in Anspruch genommen, so dass dieselbe, auch wenn sie gross ist, doch nicht mit ihrem ganzen möglichen Wirkungswerte in Rechnung gestellt werden darf, ganz abgesehen davon, dass eine und dieselbe Regenmenge von einer grossen Wasserkapazität prozentisch weniger zu sättigen vermag.

bis ins Unendliche vermehrte Filtrationswiderstand infolge der dicht aneinander schliessenden reibenden Flächen aufgefasst werden*).

Solche thonigen Massen treten häufig da im Untergrund auf, wo der Boden unter wechselnden Bedingungen aus süßem Wasser sich abgesetzt hat. In den oberen Bodenschichten ist alsdann schon durch die mechanische Bearbeitung des Ackerlandes eine Vermischung der verschiedenen Schichten eingetreten; in den unteren dagegen kann z. B. Sand und Thon in wechselweisen Lagen vorhanden sein, und der Boden ist alsdann ein undurchlässiger. Auch können sich Lehmlagen im Untergrunde sandiger Böden durch Verwaschung der Thonteilchen, wie sie namentlich für kalkarme Bodenarten charakteristisch ist, bilden. Oder man hat es auch wohl mit einem durch und durch thonigen Boden zu thun, z. B. mit einem Kleyboden, der durch seine ganze Masse ein ziemlich undurchlässiger ist und nur in der bebauten Schicht durch Bearbeitung, Vermischung mit Pflanzenresten, oder geradezu durch Überführen mit Sand seine plastische Beschaffenheit einigermaassen verloren hat.

Ähnlich wie die feinen Thonteilchen wirken, wie gesagt, auf die Verminderung der Durchlässigkeit nach den darüber angestellten Versuchen auch die Humusstoffe**) und daraus folgt für die Theorie der Erscheinung, dass ausser der Feinheit der Teilchen auch die Quellbarkeit derselben, wodurch sich die Poren schliessen, von grosser Bedeutung ist, und dass auch beim Thone diese Quellbarkeit als zweite mitwirkende Ursache genannt werden muss.

Auch praktisch ist die Kenntnis dieser Art von Undurchlässigkeit natürlich von einiger Bedeutung, obschon darauf hinzudeuten ist, dass dieselbe nur bei wirklich zusammenhängenden torfartigen Massen beobachtet wird und nicht bei den mit Sand gehörig meliorierten Moorböden. Die Unterschiede, um die es sich handelt, sind enorm, wie aus den folgenden von von Schwarz herrührenden Zahlen hervorgeht***).

Es wurde durchgelassen unter gleichen Umständen:

Von Sand	5760	ccm Wasser,
„ Löss	1674	„ „
„ Moor	1	„ „
„ Thon	0,7	„ „

Doch kommen bei wirklichen Ackererden solche Extreme natürlich nicht vor.

Die Durchlässigkeit wird am besten ermittelt am unveränderten Boden und nicht etwa an eingesandten Erdproben. Ich habe es sehr zweckmässig gefunden, weite Glasröhren mit einer Längsteilung in den natürlichen Boden einzusenken und dann das Fallen eingeschütteten Wassers in der Zeiteinheit zu messen. Kann man die Versuche, die z. B. für Berieselungszwecke eine sehr erhebliche praktische Be-

*) Genauere Studien über diesen Gegenstand bei E. Wollny: Forschungen a. d. Gebiete d. Agrikulturphysik, 1891, p. 1. Dasselbst auch eingehende und kritisch gesichtete Litteraturangaben.

**) Weit seltener ist der Fall, dass Kalk zur Bildung undurchlässiger Lagen Veranlassung giebt. Vergl. E. Wollny: Forschungen a. d. Gebiete d. Agrikulturphysik, 1891, p. 21.

***). Citirt bei Wollny, ebenda, p. 3. Der gebrauchte Moorboden enthielt 82% organ. Substanz, der Sand war von gleichmässigem, ziemlich grobem Korn, der Thon ganz abschlämmbarer diluvialer Untergrundthon.

deutung besitzen können, nicht an Ort und Stelle machen, so muss man grosse Erdklötze sich ausstechen und, in Kisten verpackt, unversehrt in ihrem Zusammenhang sich zusenden lassen. In undurchlässigen Böden wird häufig nur ein Sinken des Wassers von 0,3 cm in der Stunde, in durchlässigen von 100 cm wahrgenommen, also doch Unterschiede von dem Dreihundertfachen und mehr.

Wie wird sich nun ein solcher undurchlässiger Boden durch die Eigentümlichkeit seiner Wasseraufspeicherung dem Pflanzenwachstum gegenüber verhalten? — Sein Verhalten lässt sich vielleicht am zutreffendsten so bezeichnen, dass man sagt, ein undurchlässiger Boden habe fast eine jede Fähigkeit, seinen Wassergehalt zu regulieren, ihn von äusseren Umständen unabhängig zu machen, eingebüsst. Regnet es stark, so wird sich ein undurchlässiger Boden nicht bloss bis zur Sättigung seiner wasserhaltenden Kraft mit Feuchtigkeit imprägnieren, das überschüssige Wasser aber abfliessen lassen; er wird vielmehr über die Kapazität seiner Krume hinaus nasser und nasser werden, bis es dem Himmel gefällt, mit dem Regnen innezuhalten; — seine wasserhaltende Kraft ist gleichsam unendlich gross geworden.

Aus dieser einfachen Betrachtung gehen nun sofort die Eigenschaften hervor, die ein undurchlässiger Boden dem Pflanzenwachstum gegenüber zeigen muss. Derselbe hat jede Fähigkeit verloren, einen schädlichen Überfluss an Wasser abzuwehren. Daraus folgt, dass er in einer regenreichen Gegend, in einer nassen Jahreszeit ein für das Pflanzenwachstum sehr ungünstig geeigenschafteter ist, dass er dagegen in trockenen Gegenden sich vielleicht nicht erheblich von irgend einem durchlässigen, sonst ähnlich gearteten Boden unterscheiden wird. Im ersteren Falle wird er alle die Missstände zeigen, welche wir für Böden, aus welchen das Wasser alle Luft verdrängt hat, schon zu schildern versuchten. Alle die früher genannten Missstände: Mangel von Sauerstoff in der Umgebung der Pflanzenwurzel, Kälte, sehr grosse Verdünnung der Nährstofflösung, Bildung von sauren Humussubstanzen, Reduktion der im Boden enthaltenen Eisenoxydverbindungen u. s. w. greifen Platz und machen den Boden mehr oder minder unbewohnbar für die meisten unserer Kulturgewächse. Sich selber überlassen geht derselbe gewöhnlich über zur Bildung von Mooren. Einige für diese charakteristische Pflanzen, namentlich das Sphagnummoos, tragen dann dazu bei, die der Moorbildung günstige Eigenschaft des Bodens durch seine eigene enorme Wasserkapazität noch erheblich zu steigern.

Aus der gemachten Schilderung geht hervor, dass die Durchlässigkeit des Untergrundes für regenreiche Klimate der gemässigten Zone ein absolutes Erfordernis ist. Man sucht daher, wo dieselbe nicht vorhanden ist, sie künstlich zu beschaffen, meistens aber durch Legung von Drainröhren, durch welche das über die wasserhaltende Kraft der Ackerkrume hinaus sich ansammelnde Wasser abfliessen kann. Das Drainieren des Bodens, des Ackerlandes sowohl als Wiesengeländes, spielt mit die erste Rolle unter den landwirtschaftlichen Manipulationen, die als Meliorationen, d. i. dauernde Qualitätsverbesserungen von Grundstücken, bezeichnet werden. Ganz den Resultaten dieser Manipulationen entsprechend nennt man dann auch Böden, die von Natur einen ausgezeichnet durchlässigen Untergrund, z. B. Kies, Geröll oder sonst grobe Gesteinsmassen, die grosse Räume zwischen sich leer lassen, besitzen, natürlich-drainierte Böden.

Ich darf übrigens nicht unerwähnt lassen, dass auch diese natürliche Drainage in unserem Klima unter Umständen zu weit gehen kann. Wenn eine Ackerkrume eine geringe wasserhaltende Kraft besitzt und wenig tiefgründig ist und dann im Untergrund eine solche steinige Masse ohne alle wasserhaltende Kraft folgt, so ist das Wasserquantum, das ein solcher Boden zurückzuhalten vermag, vielleicht so gering, dass es für trockene Perioden nicht lange vorhält. Sogar bei Weinbergen in Gebirgsgegenden auf felsigem zerklüftetem Terrain hat man Erfahrungen gemacht, welche auf die Missstände eines zu stark drainierten Bodens hinweisen und welche namentlich in sehr geringen Quantitäten des Ertrages bestehen. Hier ist es freilich nicht die Durchlässigkeit allein, welche schädlich wirkt, sondern nur diese im Zusammenhange mit einer zu geringen Wasserkapazität der oberen Bodenschichten. — Für wenig tiefgründige und namentlich sandige Böden wird also unter Umständen eine geringe Durchlässigkeit des Untergrunds vorteilhaft sein. Eine absolute Undurchlässigkeit wird aber in der Praxis immer als schädlich angesehen.

Ausser dem Drainieren gibt es dann noch mehrere andere in der Praxis brauchbare Mittel, um einer thonigen Ackererde die nötige Durchlässigkeit zu verschaffen, wenn diese auch mehr solche sind, welche in dem betreffenden Falle mit Geduld längere Zeit fortgesetzt werden müssen, als eine einmalige entscheidende Maassregel. Dagegen wirken dieselben, wo sie an ihrem Platze sind, mit sehr entscheidendem Erfolge und auch noch in Fällen, wo die Drainage, wegen zu geringer Durchlässigkeit im Obergrunde selbst, im Stiche lässt. Um deren Bedeutung zu verstehen, ist es jedoch unerlässlich, noch etwas näher auf die eigentliche Ursächlichkeit der Undurchlässigkeit solcher Erden einzugehen.

Die Thonteilchen schliessen nur dann enge aneinander und verursachen dadurch die fragliche Erscheinung, wenn sie in verhältnismässig reinem Zustande vorhanden sind. Zwar eine geringe Menge Sand verhindert dieselbe nicht, offenbar weil die Thonteilchen neben und um diese verhältnismässig grossen Mineralstückchen sich frei genug bewegen, um doch ihrer Adhäsion zu einander nachgeben zu können. Dagegen wirken fein verteilte organische Stoffe, wie sie durch regelmässige Düngung mit natürlichem Dünger in den Boden gelangen (nicht eine einmalige Zufuhr von Torfmulm) in diesem Sinne; und darum ist der Boden frisch eingedeichter Seepolder, worin neben den Thon- und Sandteilchen grosse Massen von mikroskopischen Foraminiferen und anderen kleinen Lebewesen abgelagert sind, im Anfange von durchaus befriedigender Durchlässigkeit.

Eingehende Studien*) über diese Verhältnisse haben darauf hingewiesen, dass feiner Thon aus Salzlösungen in viel poröserem Zustande mit sogenannter „Krümelstruktur“ niederfällt als aus reinem Wasser und dass das gefährlichste Moment für das Undurchlässigwerden, das sogenannte Dichtsclämmen, der Übergang von Salzwasser zu Süsswasser ist**). Dabei befinden sich die Thonteilchen einen Augen-

*) Durham: Chem. News, V. 30, Nr. 767, p. 57 u. Ad. Mayer: Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik, Band II, p. 251. Vergl. auch Sachsse u. Becker: Landw. Versuchszt., 43, p. 15.

**) Daher auch die Krustenbildungen nach starker Düngung mit Chilisalpeter, wie ich sie selbst bei ziemlich sandigen, aber humusarmen Böden wahrgenommen habe; denn diese Krustenbildung ist nichts anderes als eine Rückkehr der Einzelkornstruktur.

blick im labilen Gleichgewicht und kommt eine Erschütterung (infolge von Bodenbearbeitung) hinzu, so nehmen sie um so sicherer die festeste Gleichgewichtslage, welche auch als „Einzelkornstruktur“ bezeichnet wird, an, welche eben die ist, welche die Undurchlässigkeit bedingt. Auch wird vermutlich dieses Resultat noch durch die Quellung des Thons in reinem Wasser begünstigt. — Hieraus erklären sich die schweren Schädigungen, welche zumal ältere Kleyböden erleiden, wenn sie einer Überschwemmung durch Seewasser ausgesetzt gewesen sind, und welche nur zum kleinsten Teile aus der giftigen Wirkung der Meeressalze zu erklären sind.

Eine ganz eigentümliche Rolle bei dem soeben angedeuteten Prozesse spielt der Kalk, namentlich in der Form von Calciumhydroxyd. Dieses, mit aufgeschlämmtm Thone vermischt, giebt demselben zwar anfangs wie das Kochsalz die Krümelstruktur; aber da dasselbe nicht so leicht ausgewaschen werden kann, ist keine Gelegenheit vorhanden zu deren plötzlichem Übergang in die Einzelkornstruktur, die gerade in der Praxis so sehr nachteilig wirkt und in derselben bezeichnet wird als Dichtschlagen des Bodens. Darauf beruht die vorzügliche Wirkung periodischer Kalkdüngungen*) auf zähen Thonböden, wodurch viel mehr zu erreichen ist als durch das Aufbringen einer zehnfach grösseren Menge von Sand, wodurch ausserdem der Gehalt des Bodens an Pflanzennährstoffen in so empfindlicher Weise herabgedrückt werden würde.

Andere Salze verhalten sich bei diesem Prozesse wieder anders. Alkalikarbonate**) und überhaupt Salze, die das Wasser weich machen, befördern die Einzelkornstruktur, so dass sich Alkaliböden häufig in einem physikalisch sehr ungünstigen (klotzigen) Zustande befinden, wie Hilgard gefunden hat, aber durch Gipsdüngung in einen besseren Zustand gebracht werden können.

Im allgemeinen können als Hilfsmittel gegen zähen Thonboden, der das Wasser so schwer passieren lässt, anempfohlen werden: Regelmässige Düngungen mit organischen Düngemitteln (Stallmist), periodische Meliorationen mit Kalk***), Anbau reichbewurzelter Gewächse (Weissklee), Vermeiden von ausschliesslichem Anwenden von Kunstdünger, im Falle der Salzwasserüberschwemmung auch Unangerührtlassen des langsam sich entsalzenden Bodens.

Als ein weiterer Grund der Undurchlässigkeit ist das Vorkommen von sog. Ortstein (Oer holl.) im weiteren Sinne des Worts von ziemlicher Erheblichkeit. Das-

*) Eine offenbare Folge der gleichen Erscheinung ist es auch, dass, wo es in Sandböden an Kalk fehlt, die wenigen Thonteile mit dem Wasser in die Tiefe gespült werden, bis sie, auf Kalk stossend, die Krümelstruktur wieder annehmen. Daher die Vereinigung von Kalk und Thon im Untergrund, also die Ursache der Entstehung von Mergelnestern. Daher auch die Unmöglichkeit, Sandboden mit Thon zu meliorieren, wohl aber mit Mergel. Vergl. über diesen interessanten Gegenstand Loric: Tydschr. d. Nederl. Heide-Maat-schappy, III, p. 134.

**) Diese entstehen im Boden durch Wechselzersetzung von kohlensaurem Kalk und neutralen Alkalisalzen unter Mitwirkung eines Übermaasses von Kohlensäure. Vergl. die sehr lehrreiche Darstellung Hilgard's: Forschungen a. d. Gebiete d. Agrikulturphysik, 1893, p. 82.

***) Vergl. Landw. Versuchsst., 41, p. 37.

selbe wird namentlich auf Sandböden, die lange unkultiviert gelegen haben, beobachtet und ist der Landwirtschaft und vielleicht noch in höherem Grade der Forstwirtschaft hinderlich. Wenige Decimeter tief, häufig aber viel tiefer trifft man auf eine wahre Steinschicht von brauner oder schwarzer Farbe, die unter allen Umständen Eisenoxyd enthält, häufig auch grössere Mengen von Humusstoffen, aber auch noch andere Bestandteile, zumal Sandkörner in sich einschliesst.

Die Ursache dieser Bildung, wenn Eisenoxyd in derselben vorherrscht, ist ziemlich deutlich. Wenn in einem eisenreichen Boden durch die Verwesung organischer Substanzen regelmässige Gelegenheit gegeben wird zur Reduktion des Eisenoxyds in die weit löslicheren Oxydulverbindungen, dann sickern diese in Wasser gelöst nach unten, bis sie auf eine Schicht stossen, wo Abwesenheit von organischen Stoffen die oxydierende Wirkung von überall anwesendem Sauerstoff in den Vordergrund treten lässt. Dann scheidet sich Eisenoxydhydrat ab, welches die anwesenden festen Stoffe verkittet. Hat man es mehr oder weniger ausschliesslich mit diesem Vorgange zu thun, so bezeichnet man die feste Lage im Untergrunde als Raseneisenstein. Basische Stoffe wie Kalk wirken niederschlagend in derselben Richtung, weil sie dem Oxydulsalz die lösende Säure entziehen und das Hydroxyd zur Oxydation disponieren. Daher man häufig hohle Raseneisensteine findet, die einen Kern von Kalkstein einschliessen oder eine Schicht von jenem als Decke eines Mergellagers*).

Noch nicht völlig aufgeklärt ist die Entstehungsweise des eigentlichen (eisenarmen) Ortsteins, welcher im Gegensatz zu jenem beim Glühen in ein weisses Pulver auseinanderfällt, auch durch Alkalilauge destruiert werden kann. Von besonderem Interesse sind dabei die Erscheinungen, welche bei der Differenzierung des Heideuntergrundes in hellgrauen „Bleisand“ einerseits und dunkelbraune Ortsteinlagen andererseits stattfinden. Die Untersuchungen über diesen Gegenstand, welche vor allem durch P. E. Müller in Kopenhagen angestellt worden sind, haben ergeben, dass diese Erscheinung namentlich auf baumlosem, nicht von Regenwürmern durchwühltem Lande unter zähem, die Luft abschliessendem und den Boden feucht erhaltendem Heidetorf stattfindet. Die oberen Bodenschichten werden dabei gänzlich ausgelaugt, so dass alle disponiblen Nährstoffe verschwinden (daher die grosse Unfruchtbarkeit des Bleisandes), um weiter unten in der Ortsteinschicht wieder absorbiert zu werden. Das primäre ist aber vielleicht auch in diesem Falle das Niederschlagen des Eisens in der vorhin angedeuteten Weise; aber dieses wirkt dann seinerseits absorbierend auf Kali, Kalk u. s. w.**)) und schlägt auch seinerseits soviel Humusstoffe (vermutlich noch viel mehr durch Sauerstoffübertragung als durch Absorption) nieder, dass sein schliesslicher Gehalt in der Ortsteinschicht gar nicht gross zu sein braucht und man neben Raseneisenstein Humusortstein, der an der Luft zerfällt und beim Glühen weissen Sand hinterlässt, zu unterscheiden hat. — Dass auch im letzteren Falle der primäre Vorgang Eisenoxydabscheidung ist, ergibt sich mit einiger Wahrscheinlichkeit daraus, weil sonst keine Ursachen der Differenzierung der Bodenbestandteile

*) So bei Raalte in Overijssel. Vergl. Landbouw Courant, 1890, Nr. 45.

**) Vergl. die sechste Vorlesung dieses Bandes, p. 92, wo auch die Müller'schen Untersuchungen citiert sind.

bekannt sind als grösserer Sauerstoffgehalt mit oder ohne basische Stoffe, wie Kalk im Untergrund, welche Momente eben in erster Linie auf die Ausscheidung desjenigen Metalles wirken, welches in zweierlei Oxydationsstufen im Boden vorkommt. Klärung in betreff dieses Punktes würde zu erreichen sein durch Suchen nach Humusverbindungen, welche durch blosser Oxydation niederschlagen. — In den Böden regenarmer Länder giebt es dann noch andere Ursachen der Bildung undurchlassender Lagen im Untergrunde, welche erst durchbrochen werden müssen, ehe Pflanzenwuchs möglich ist, aber da dieselben zu der eigentlichen Undurchlässigkeit für Wasser in keiner Beziehung stehen, mögen dieselben hier unbesprochen bleiben*).

Die Wirkung einer Ortsteinschicht ist nicht allein Undurchlässigkeit für das Wasser, sondern auch die Pfahlwurzeln von Lupinen und Kiefern stossen auf diese Schicht und alsbald kann man an der sistierten Entwicklung der oberen Pflanzenteile den Schaden erkennen, der unsichtbar im Untergrunde seinen Sitz hat. -- Die einzig mögliche, aber auch endgültige Melioration ist das Herausheben der Ortsteinschicht, die an der Luft durch Oxydation der verkittenden Humussubstanzen bald in Pulver zerfällt und keine weiteren Nachteile mehr im Gefolge hat. Handelt es sich um Raseneisenstein, so muss er ausgegraben und fortgeschafft werden, was häufig um so rentabler ist, da er als Hüttenerz technisch verwertbar ist.

In ganz ähnlicher Lage wie ein Boden mit undurchlässigem Untergrund, also der Versauerung und Versumpfung ausgesetzt, befindet sich ein Boden, in welchem das Horizontalwasser so hoch steht, dass die Entwicklung der Wurzeln dadurch gehindert wird. Bei näherer Beleuchtung fällt aber dieser Umstand mit schon Behandeltem zusammen, indem ja irgend eine Undurchlässigkeit im weiteren Sinne des Worts in der Regel Veranlassung hierzu bietet. Als höchster Stand des Wassers unter der Krume, von dem keine Schädigungen mehr zu erwarten sind, ist etwa ein Meter unter der Oberfläche anzusehen**) und ist dieser Stand nicht zu erreichen, dann hat man für Tieferlegen der Gräben mit natürlicher oder künstlicher Wasserabfuhr (Auspumpen der Polder) zu sorgen, Maassregeln, die mit dem Drainieren die grösste Ähnlichkeit aufweisen.

Ein weiteres Verhalten des Bodens dem Wasser gegenüber, das für unseren Zweck in Betracht kommt, ist die *kapillare Wasserleitung* in demselben, das Analogon der Wärmeleitung, doch praktisch von grösserer Wichtigkeit als diese. Die kapillare Wasserleitung, welche auch als wasseraufsaugende Kraft bezeichnet worden ist, wird gemessen durch die Geschwindigkeit, mit der eine getrocknete Erde, die z. B. in eine nach unten offene Glasröhre gefüllt ist und an diesem Ende mit Wasser in Berührung gebracht wird, sich bis zu einer gewissen Höhe vollsaugt, oder durch die Höhe, die das Wasser in einer solchen mit Erde gefüllten Röhre in einer gewissen Zeit oder im Maximum erreicht.

*) Vergl. darüber Hilgard: Forsch. a. d. Geb. d. Agrikulturphysik, 1893, p. 82.

**) Obschon dies von der Art der Pflanze und auch der des Bodens abhängig ist. Vgl. die interessanten Mitteilungen Fleischer's (Biederm. Centralbl., 1885, p. 296/7). Für Wiesen und Weiden kann der Gesamtwasserstand zweckmässig etwas höher sein und bis zu $1\frac{1}{2}$ m unter die Oberfläche steigen.

Es ist eine auf diese Weise leicht zu konstatierende Thatsache, dass die Fortleitung des Wassers in verschiedenen Ackererden mit verschiedener Energie erfolgt. Ausserdem ist seit lange bekannt, dass die anfängliche Geschwindigkeit in der Fortleitung innerhalb eines ausgetrockneten Bodengemisches keineswegs maassgebend ist für die endgültig zu erlangenden Höhen der kapillaren Aufsaugung. Diese Unregelmässigkeit ist vermutlich daraus zu erklären, dass bei Bodengemischen, in welchen die Aufsaugung verhältnismässig langsam voranschreitet, schliesslich aber doch grosse Werte erreicht, wie in vielen Thonböden, die feineren Hohlräume wohl eine grössere endliche Steighöhe ermöglichen, inzwischen aber durch die grössere Reibung die Geschwindigkeit des Aufsteigens vermindern, und ausserdem — und dies gilt vor allem für humose Böden — dass die Vorbereitung für die Benetzungsfähigkeit, vielleicht infolge des Verlaufs geringfügiger chemischer Veränderungen unter dem Einflusse des kondensierten Wasserdunstes, einige Zeit in Anspruch nimmt*).

In Glasröhren für wirkliche Ackererden in lufttrockenem Zustande erlangte Zahlen sind z. B. folgende von Meister**) ermittelten, woraus man eine Vorstellung über den Verlauf und das Endresultat der Erscheinung sich bilden mag. Dabei waren die mit trocknen Erden gefüllten Röhren auf nassen Sand gestellt.

Erdarten.	Saughöhe des Wassers			
	nach $\frac{1}{2}$ Stde.,	nach $5\frac{1}{2}$ Stdn.,	nach $6\frac{1}{2}$ Stdn.,	nach $21\frac{1}{2}$ Stdn.
Thonboden	340 mm	1100 mm	1150 mm	2000 mm
Humus	400	1100	1140	1770
Gartenerde	290	950	980	1610
Quarzsand	440	920	970	1170
Torfboden	260	500	570	1140
Sandboden	450	620	660	900
Gipsboden	120	400	400	820
Kreideboden	60	330	540	700.

Aus diesen Zahlen kann gefolgert werden, dass den Thonböden die grösste Fähigkeit der kapillaren Wasserleitung zukommt, dass sich dann etwa die humosen Erden und dann die Sandböden anreihen, und dass den Gips- und Kreideböden jene Fähigkeit im geringsten Grade zukommt. Zugleich erkennt man die sehr verschiedene relative Aufsaugungsgeschwindigkeit. Die ersten richten sich nach dem Vorhandensein von kapillaren Räumen von engsten Dimensionen, die letztere ist in weiteren Kapillaren grösser; Lockerheit der Erde verändert wenig an diesen Dingen, weil sie auf das Bestehen feinsten Kapillaren wenig Einfluss hat. Nur wird — und

*) A. Wolf hat in sehr beachtenswerten Versuchen (über die Bestimmung der wasserhaltenden Kraft des Bodens, Jena 1870, p. 21) nachgewiesen, dass ähnliche Anomalien auch bei verschieden engen Glaskapillaren nachzuweisen sind, so zwar, dass die Aufsaugung in der engeren Röhre anfangs geradezu langsamer erfolgt, um dann später die in der weiteren zu überholen. Diese Thatsache ergibt für den uns vorliegenden Fall eine Erklärung, wie ich sie im Texte angedeutet habe. Die Steighöhe ist umgekehrt proportional dem Durchmesser kapillarer Röhren, die Reibung umgekehrt proportional mit der zweiten Potenz desselben.

**) Vergl. Jahresber. f. Agrikulturchemie, 1859—1860, p. 42.

dies ist, wie wir noch weiter unten sehen werden, ein Gesichtspunkt von erheblicher praktischer Bedeutung — in losem Grunde weniger Wasser in der Zeiteinheit fortgeleitet.

Viel mehr als das soeben Mitgeteilte haben auch die neueren Untersuchungen über diesen Gegenstand nicht ans Licht gebracht, und es darf für einen kritischen Gebrauch der ermittelten Zahlen nicht verschwiegen bleiben, dass die Umstände, unter welchen die Versuche angestellt worden sind, sehr wenig den thatsächlichen Verhältnissen entsprechen, unter welchen wir von der Wasserleitung Nutzen oder Schaden für unsere Kulturen erwarten. Die zur Verfügung stehenden Versuche sind, und zwar z. T. wohl aus Gedankenlosigkeit, z. T. wegen experimenteller Schwierigkeiten, sämtlich mit lufttrocknen Erden angestellt worden, während die natürlichen Böden gerade in den Zeiten, in welchen wir von ihnen die stärkste kapillare Leitung von Wasser erwarten, nicht in dem Maasse ausgetrocknet sind. Nun geht aber, wie wir gesehen haben, bei lufttrocknen Erden der kapillaren Wasseraufsaugung ein Prozess der Anfeuchtung voraus, der jene verzögert und bei verschiedenen Bodenarten verschieden ist.

Ferner ist ein grosser Übelstand bei den vorliegenden Versuchen, dass sie gleichfalls wegen entgegenstehender experimentellen Schwierigkeiten nur qualitativ und nicht quantitativ sind, da die Beobachtung überall auf dem veränderten Aussehen der feuchten Erde beruht und Wasserbestimmungen nicht nebenherlaufen. Diese Umstände machen, dass mit den bisherigen Resultaten praktisch herzlich wenig zu beginnen ist, wie ich am deutlichsten in dem ausserordentlich trockenen Sommer 1893 zu beobachten Gelegenheit hatte. Sehr auffällig war damals die grosse Schädigung der Wiesengräser und anderer wenig tiefwurzelnden Gewächse auf steifem Thonboden (viel mehr als auf Moorboden), selbst wenn das Wasser in den Gräben noch 1 Meter unter der Oberfläche stand. Nach den vorliegenden Resultaten der Laboratoriumsversuche hätte man in diesem Falle gerade auf diesem Boden eine obwohl langsame, aber durch die Höhe kaum beschränkte Wasseraufsaugung erwarten müssen. Dass dieselbe nicht eintrat, beweist entweder das quantitativ Ungenügende der Erscheinung oder die gänzliche Veränderung der Leitungsfähigkeit durch das Zusammentrocknen und die dabei unvermeidlichen Risse im Boden*).

Nachdem wir uns eine, wie wir gesehen haben, noch sehr wenig vollständige Vorstellung von der Befähigung verschiedener Bodenarten, das Wasser in ihren kapillaren Zwischenräumen zu leiten, verschafft haben, handelt es sich darum, eine Einsicht in die Art der Wirksamkeit dieser Bodeneigenschaften zu gewinnen, — ein Urteil darüber zu erlangen, ob und wann wir es in denselben mit nützlichen oder schädlichen Eigentümlichkeiten zu thun haben.

Die kapillare Wasserleitung wird sich selbstredend nur da geltend machen können, wo durch irgend eine äussere Ursache eine Verschiedenheit mit dem Wassergehalt der einzelnen Bodenschichten eintritt, da sie in nichts anderem besteht als in der Ausgleichung dieser Verschiedenheit. Der Anstoss zu einer ungleichartigen Wasserverteilung in der Ackererde wird unter natürlichen Verhältnissen meist von

*) Vergl. auch King: Sixth Annual. Report of Agric. Exper. Station Wisconsin.

obenher kommen. Es fallen atmosphärische Niederschläge auf den Boden, welche die obersten Schichten durchnässen, oder der Boden trocknet von obenher ab, und diese Schichten werden so zuerst des Wassers beraubt. Ein Durchnetzen von einem feuchten Untergrund her ist auch noch ein Fall, den wir in Betracht ziehen müssen; ein Trocknen von untenher aber geradezu undenkbar.

Sehen wir nun zu, wie in diesen möglichen Fällen die verschiedene Befähigung, das Wasser zu leiten, wirken muss. Fällt auf eine Ackererde, in welcher die kapillare Wasserleitung nur langsam vor sich geht, ein Regenguss, so wird das Wasser nicht rasch eindringen, sondern bei leichter Neigung des Terrains zum grossen Teil oben abfliessen*) und höchstens hie und da in Pfützen sich sammeln, ohne eine Durchfeuchtung der Erde bewirkt zu haben, ähnlich wie wir dies häufig an Haufen von Chauseestaub nach einem starken Regenguss staunend wahrnehmen, wenn wir sie mit dem Fuss zerteilen. Es kann kein Zweifel daran sein, dass ein solches Verhalten der Ackererde unter manchen Umständen und namentlich in trockenen Klimaten, wo es sich darum handelt, von einem gefallenen Regen möglichst viel Nutzen zu ziehen, schädlich wirken würde, wenn auch bei einer Ackererde, die ja niemals die Lockerheit von angehäuften Staub besitzt, eine so ausserordentlich schlechte Leitungsfähigkeit nicht erwartet werden darf.

Ganz im umgekehrten Sinne aber werden sich Böden von geringer Leitungsfähigkeit für Wasser verhalten, wenn von obenher eine Austrocknung erfolgt. In diesem Falle trocknen die oberen Bodenschichten rasch ab; allein diesen wird das Wasser von unten nur langsam mitgeteilt, so dass ein so beschaffener Boden weit länger den austrocknenden Einflüssen in seinen tieferen Schichten zu widerstehen vermag**). Hier wirkt eine geringe Leitungsfähigkeit für Wasser also entschieden günstig, da es sich in diesem Falle ja unter keinen Umständen um ein Übermaass von Wasser handeln kann. Während also beim Regnen eher eine bedeutende Leitungsfähigkeit der Ackererde als eine für das Pflanzenwachstum förderliche Eigenschaft angesehen werden darf, so ist ohne Zweifel doch in trockenen Perioden eine geringe Leitungsfähigkeit vorzuziehen***).

Wir haben also hier den Fall vor uns, dass eine und dieselbe Bodeneigenschaft an einem und demselben Orte bald nützlich, bald schädlich zu wirken vermag, und es erscheint dem gegenüber eigentlich unmöglich, eine Ackererde von idealen Eigenschaften auch nur zu denken. Nun ist es aber dennoch möglich, so merkwürdig dies auch auf den ersten Blick erscheinen mag, in einer Ackererde grosse und geringe Leitungsfähigkeit gleichzeitig in einer Weise herzustellen, dass sie sich sowohl bei Regenfall als bei Trockenheit möglichst günstig verhält. Es ist diesen scheinbar unlöslichen Widerspruch zu lösen dadurch möglich, dass man einen an sich gut

*) Bei lehmiger Beschaffenheit des Bodens öfters wahrzunehmen.

**) Von dem Aufsteigen und der oberflächlichen Ansammlung der im Bodenwasser gelösten Stoffe mit diesem Wasser haben wir einmal früher gesprochen. Vergl. p. 106, Anm. ††).

***). Abgesehen von dem verhältnismässig seltenen Falle, dass in einer regenarmen Gegend die Wasserversorgung der Pflanzen geradezu aus dem Untergrunde geschieht. Vergl. hierüber v. Gohren: Boden und Atmosphäre, 1877, p. 90.

leitenden Boden *oberflächlich lockert*. Durch diese obere lockere Schicht dringt das gefallene Regenwasser leicht ein, nicht weil in derselben starke kapillare Leitung stattfindet, sondern einfach vermöge seiner Schwere, bis zu den tieferen Schichten, wo kapillare Leitung rasch erfolgt. Anders ist es aber beim Austrocknen. Von unten nach oben kann das Bodenwasser eben nur durch kapillare Leitung gelangen, und da die Menge des fortgeleiteten Wassers durch die oberflächliche Lockerung der obersten Bodenschichten vermindert wird, so trocknen nur diese aus *), lassen aber nur wenig Wasser aus den festen Bodenschichten durch sich hindurch an die verdunstende Oberfläche gelangen **). Sobald der oberflächlich abgetrocknete Boden nur 50% des Wassers, das er vermöge seiner Wasserkapazität festzuhalten vermag, besitzt, erlischt die Leitungsfähigkeit fast ganz und eine Verdunstung ist nur noch möglich durch Ab- und Zufließen von Luft in die tieferen Bodenräume.

Auf diese Weise gelingt es also in der That, eine Ackererde herzustellen, welche das scheinbar Unmögliche leistet, sich in der Zeit, wo es regnet, wie eine das Wasser gut leitende, in den trockenen Perioden wie eine schlecht leitende zu verhalten und auf diese Weise für einen grossen und ziemlich gleichmässigen Gehalt an Wasser zu sorgen — ein Verhalten, welches in trockenen Gegenden und Jahreszeiten von hohem Werte ist. Unsere landwirtschaftlichen Manipulationen **), die in einer solchen oberflächlichen Lockerung eines mit Pflanzen bestandenen Bodens bestehen, das Hacken und Häufeln, lassen sich wohl zum grossen Teil auf den eben dargelegten Gesichtspunkt zurückführen, wenn auch durch dieselben gleichzeitig ein Zerstören des Unkrauts, eine Vermehrung der den einzelnen Pflanzen zur Verfügung stehenden Erdmassen und dergleichen mehr bewirkt wird. Die kapillare Wasserleitung, die in ihrer Grösse und Geschwindigkeit abhängig ist von der Weite der Zwischenräume der festen Masse und im umgekehrten Verhältnisse zu dieser steht, ist ein wesentliches Element einer dauernden Verdunstung, gerade wie eine gute Wärmeleitung die Erkaltung eines Bodens durch Ausstrahlung bis in tiefere Schichten wesentlich unterstützt, und wo es gelingt, durch Erweiterung jener Zwischenräume dieselbe auf ein Minimum herabzudrücken, da kann man auch die Austrocknung durch Verdunstung auf die obersten Bodenschichten, die dann freilich sehr gründlich austrocknen und auch in ihrer Wasserkapazität vermindert werden, beschränken und so der Vegetation ein gewisses Reservoir von Feuchtigkeit im Boden aufbewahren.

Ganz dasselbe wird bei der Rimpau'schen Moorkultur †) erreicht durch die obenauf gebrachte Sanddecke, die das Wasser schlechter leitet als der Humus.

*) Vergl. in dieser Beziehung auch E. Wollny: Forschungen, Band III, p. 147; ferner C. Eser: ebenda, Bd. VII, p. 121.

**) J. Nessler hat das Verdienst, auf die verringerte Verdunstung einer oberflächlich gelockerten Erde zuerst hingewiesen und den Grund dieser Erscheinung klar eingesehen zu haben. Vergl. Bad. landw. Korrespondenzbl., 1860, p. 230, u. Ber. d. II. Wanderversamml. bad. Landw. u. s. w., 1867, p. 79. Sehr gründlich ist der Gegenstand dann ferner von Wollny behandelt worden. A. a. O., Bd. IV, vergl. namentlich p. 25. In demselben Aufsätze auch Litteraturangaben.

***) Hierüber interessante Details bei King: Sixth Annual. Report of Agric. Exper., Station Wisconsin, p. 189.

†) Vergl. die Beobachtungen von Fleischer: Landw. Jahrb., 20, p. 771.

Nur in seltenen Fällen ist die Anforderung der Praxis die umgekehrte nach einer gleichmässigen Feuchtigkeit der obersten Bodenschichten, so z. B. für die gleichmässige Keimung einer oberflächlich untergebrachten (feinen) Saat. In der That ist dann auch die Maassregel die entgegengesetzte. Man walzt den Boden nach vorgenommener Einsaat, wobei er dann oberflächlich feuchter bleibt, in seiner ganzen Masse freilich rascher austrocknet, was aber im Frühjahr weniger auf sich hat oder geradezu erwünscht ist.

Schliesslich hat natürlich neben der Beschaffenheit der Erde auch der *Bestand mit Pflanzen selber* einen grossen Einfluss auf die Feuchtigkeit des Bodens, sei es, dass die Gewächse durch ihre Beschattung den Boden vor Austrocknung schützen und so zu einem Teile wieder gut machen, was sie dem Boden direkt durch ihre Transpiration an Wasser entzogen haben (Feuchtigkeit eines Kleeackers gegenüber einem mit Getreide bestandenem Felde), sei es, dass die Verdunstung der Gewächse selbst eine verschieden grosse ist (Trockenheit der Wiesen in der heissen Periode, die freilich z. T. der fehlenden Auflockerung des Wiesenbodens zugeschrieben werden muss), oder endlich, dass die Wurzelverzweigung eine verschiedene mechanische Beschaffenheit der Krume veranlasst — Gegenstände, die indessen an dieser Stelle nicht eingehend behandelt werden können.

Wenn wir nun schliesslich die verschiedenen Eigenschaften des Bodens dem Wasser gegenüber noch einmal zusammenfassen und uns die Frage stellen: Welche Bodenarten sind die nässesten, welche die trockensten unter gleichen klimatischen Bedingungen und welche werden voraussichtlich die grösste Unregelmässigkeit in ihrem Wassergehalte zeigen? — so werden wir ungefähr sagen können:

Nasse Bodenarten werden, zumal bei grosser Regenmenge, alle *undurchlässigen Böden* sein, d. i. also Böden, welche im Untergrund eine zusammenhängende thonige Schicht oder Ortstein besitzen, und kommen in diesem Falle die übrigen physikalischen Bodeneigenschaften kaum in Betracht.

Trockne Böden werden immer diejenigen Bodenarten sein, die sich genau entgegengesetzt verhalten, also *Sandböden mit fester Oberfläche und mit kiesigem Untergrund*.

Gleichmässig feuchte Böden werden solche sein, welche eine *grosse Wasserkapazität* besitzen, also feinkörnige, tiefgründige Bodenarten, besonders humoser Natur, und die, welche *oberflächlich gelockert* sind.

Boden von wechselndem Wassergehalt bei wechselnden äusseren Verhältnissen sind natürlich diejenigen, die gegen möglichst viele der eben gegebenen Postulate verstossen, z. B. flachgründige Torfböden mit undurchlassendem Untergrund.

Mit diesen Betrachtungen hätten wir dann auch das Wesentliche, das über die physikalischen Eigenschaften der Ackererde in allgemein theoretischer Behandlung gegeben werden kann, erledigt.

Ausser den eben besprochenen chemischen und physikalischen Eigenschaften der Ackererden ist man endlich in neuerer Zeit auch noch aufmerksam geworden auf die Eigenschaften, die auf die Thätigkeit von Organismen, welche im Boden leben, zurückzuführen sind. Schon vor den mit den Hellriegel'schen Entdeckungen in Beziehung stehenden Beobachtungen von Wurzelsymbiosen von Pilzen und Bak-

terien hatte man einige hierhergehörige Erfahrungen gemacht; aber man kann sich denken, wie in dieses Gebiet Leben und Bewegung kam nach der Erkenntnis der Thatsache, dass das im Boden lebende grosse und keine Geziefer nicht immer als vegetationsfeindliche oder höchstens als gleichgültige Mitbewohner anzusehen ist, sondern dass auch hier, ebenso wie bei der Befruchtung von oberirdischen Pflanzenteilen durch Insekten, mancherlei biologische Beziehungen und Wechselbeziehungen bestehen, welche von der allergrössten praktischen Wichtigkeit sein können. Der Anfang ist in dieser Richtung charakteristisch genug schon durch Darwin gemacht worden, der ja bekanntermaassen durch seine ausdauernden und unvoreurteilten Wahrnehmungen den festen Grund gelegt hatte zu der modernen biologischen Anschauung von dem vielfachen Ineinandergreifen genetisch nicht zusammengehöriger Lebewesen. Aber dieser Anfang konnte nur sein auf dem makroskopischen Gebiete, auf dem dieser Forscher sich ausschliesslich bewegte, gleichsam um zu beweisen, wie viele Entdeckungen auch noch zu machen sind ohne verwickelte Apparate mit den gewöhnlichen Hilfsmitteln unserer Sinne, wenn diese nur sicher und unbeirrt ihrer Aufgabe obliegen.

Es ist nämlich Darwin gelungen zu zeigen (und dies ist nachher durch andere in ausgiebiger Weise bestätigt worden), dass die Regenwürmer, bis dahin eher als Feinde des Pflanzen- und Gartenbaus behandelt, dadurch eine sehr nützliche Wirkung auf Mischung der Erde hervorzubringen vermögen, dass sie ungeheure Mengen an sich wenig nahrhafter Pflanzenreste verzehren und sie in einem Zustande wieder abgeben, der zunächst als ein fein zerteilter bezeichnet werden kann. Aber auch soweit die verzehrte Pflanzenmasse dem Aufbau und den Verrichtungen des Körpers der Regenwürmer dient, findet natürlich eine raschere Umsetzung eines an sich ziemlich wertlosen Bodenbestandteils statt. Wir können also sagen, dass durch die Anwesenheit dieser Würmer der Umsatz von Pflanzenresten in nützlichen Humus und Pflanzennahrung beschleunigt wird.

Ausserdem leisten die Regenwürmer aber etwas Ähnliches wie eine Bodenbearbeitung. Durch ihr unausgesetztes Ziehen von Höhlungen lockern sie die Erde mit allen den vorteilhaften Folgen, die eine solche in Bezug auf Luftzutritt und Förderung der Verwesungs- und Verwitterungserscheinungen zu haben pflegt, und da der Inhalt der Höhlung grossenteils ihren Leib passiert und als Exkret in jenen bekannten Bildungen, die selber wurmähnlich sind, wieder abgesetzt wird, so findet gleichzeitig eine sehr gründliche Mischung statt. Und alle diese Arbeit erfolgt unausgesetzt, so dass man zu dem Behufe die auf dem Boden wachsenden Pflanzen nicht zu beseitigen braucht, ungemerkt und ohne Kosten.

Es kann sein, dass der Nutzen, der daraus entsteht, übertrieben vorgestellt worden ist, und jedenfalls wird derselbe nicht für alle Böden derselbe sein; aber es steht fest, dass in vergleichenden Versuchen*) eine nützliche Wirkung bemerkt werden konnte**).

*) Vergl. E. Wollny: Forschungen a. d. Geb. d. Agrikulturphys., 1890, p. 381.

**) Es darf gewiss die Frage gestellt werden, nachdem einmal die Aufmerksamkeit in diese Richtung gelenkt ist, ob die gewöhnlichen Regenwürmer die einzigen Tiere der Art sind, die einen solchen Einfluss auf die Bildung der Ackerkrume haben. Einem auf-

Von jedenfalls ebenso grosser Bedeutung erscheinen manche niedrigen, in ihrem Thun und Treiben nur dem Mikroskope und subtilen chemischen Untersuchungen zugänglichen Organismen, von welchen freilich nur die nicht mit den Wurzeln der Kulturpflanzen symbiotisch lebenden in die Bodenkunde gehören.

Vor allem sind an dieser Stelle die neuerdings als *Nitromonas* bezeichneten Salpeterbakterien zu nennen, da sie die ersten dieser Wesen sind, auf welche die Aufmerksamkeit gefallen ist, und da sie, weil man noch mehrere andere kennen gelernt, an praktischer Wichtigkeit noch stets die erste Stelle einnehmen. Zuerst sind meines Wissens diese merkwürdigen Organismen durch einige französische Chemiker wahrgenommen worden; aber die genaueste Kenntnis derselben haben wir den ganz neuen Arbeiten eines sehr geübten Bakteriologen, Winogradsky*), zu verdanken, dem es gelungen ist, sie rein zu züchten und so ihre Lebensbedingungen nach allen Richtungen hin aufzuklären.

Die *Nitromonaden* sind auch aus allgemein pflanzenphysiologischen Gründen sehr merkwürdige Lebewesen, da sie abweichend von allen anderen trotz ihrem Leben im Dunkeln und natürlich Abwesenheit von Chlorophyll auf rein mineralischem Nährboden gut und besser zu gedeihen scheinen als auf teilweise organischem und dabei noch die organischen Stoffe ihres eigenen Leibes produzieren. Dass dies möglich ist, ohne dem früher von uns als Ausgangspunkt unserer pflanzenphysiologischen Darlegungen zu Grunde gelegten Gesetze von der Erhaltung der Kraft ein Schnippchen zu schlagen, beruht darauf, dass ihre Hauptreaktion darin besteht, dass sie Ammoniak, in verdünnter Lösung dargeboten, in Salpetersäure umsetzen. Ammoniak ist aber, obwohl wir es nach unserer gewöhnlichen Einteilung zu den mineralischen Stoffen rechnen, ein stark reduzierter und darum verbrennlicher Stoff, der also physiologisch für gewisse extrem organisierte Wesen mit den organischen Stoffen in einer Linie steht und hier als Hauptnährstoff auftritt, wie diese für die übrigen chlorophyllfreien Organismen.

An der gleichen Stelle interessiert uns von diesem in so hohem Grade wichtigen Thatbestande nur so viel, dass diese *Nitromonaden* ausserordentlich verbreitet im gewöhnlichen Ackerboden sind, ja im gesunden und thätigen beinahe immer vorkommen scheinen; dass durch sie regelmässig Ammoniak, ein Bestandteil, der in den natürlichen Düngemitteln vorhanden oder aus deren faulenden Eiweissmassen und Amidostoffen abgespalten wird, aber kein Nährstoff von ganz universeller Be-

merkensamen Beobachter der Erscheinungen des Seestrandes, Mansholt im groningenschen Westpolder, ist es aufgefallen, dass der bei der Ebbe leerlaufende Strand nach kurzer Zeit mit dem Auswurfe von Seewürmern bedeckt ist, und dass dieses feine Material ein Hauptbestandteil dessen ist, was von der kommenden Flut mit aufgenommen und dann beim langsamen Zurückgehen des Wassers als Kwelder zur Bodenbildung beiträgt. Der Beobachter meint, dass die Seekleyböden diesem Umstande einen Teil ihrer besonders günstigen Eigenschaften verdanken, und dem Verfasser dieser Vorlesungen, an den sich jener mit brieflichen Mitteilungen gewandt hat, scheint die Frage einer näheren Untersuchung wert. — Auch die Thätigkeit der Ameisen ist für die Lockerung des Waldbodens in der letzten Zeit in Anspruch genommen worden.

*) *Annale de l'institut Pasteur*, IV, 1890, p. 268; auch *Chem. Centralbl.*, Bd. I, p. 1061, Bd. II, p. 110, und *Wollny: Forschungen*, 1891, p. 33.

deutung für die höhere Pflanzenwelt ist, in Salpetersäure, welcher diese universelle Nährbefähigung zukommt, verwandelt wird.

Dass der gewöhnliche Nitrifikationsprozess in der Ackererde ganz überwiegend der Wirkung derartiger Organismen zugeschrieben werden muss, ergibt sich schlagend aus der Thatsache, dass derselbe sistiert wird, wenn man den Boden vorübergehend erhitzt oder durch Chloroformdämpfe das organische Leben unterdrückt.

Es ist nun von besonderem agronomischen Interesse, durch die einschlagenden Untersuchungen nachgewiesen zu sehen, wie sehr das Leben oder wenigstens das gedeihliche Wirken der Nitromonaden an die Anwesenheit von ungelösten kohlen-sauren alkalischen Erden geknüpft ist. An Stückchen von kohlen-saurem Kalke oder Magnesia siedeln die kleinen Wesen sich an, sie umhüllend und langsam auflösend. Dieser Umstand ist sehr begreiflich, da aus einer Base eine starke Säure wird und so nicht bloss diese eine Base vorfinden muss, sondern häufig auch noch die Säure, an welche das Ammoniak ursprünglich gebunden war, soll die ganze Masse nicht versäuern und so dem ganzen Prozesse vor der Zeit ein Ziel gesetzt werden*). Auch muss es eine Basis sein, die zu keiner scharfen alkalischen Reaktion Veranlassung giebt, und als solche sind besonders die unlöslichen Erdalkali-Karbonate geeignet.

Wir haben in diesem Verhalten zugleich den Schlüssel für die Rolle, die der Kalk in den künstlichen Salpeterplantagen spielt, aber auch für die in der Düngerlehre bekannte Erscheinung, dass man auf kalkreichen Böden sehr viel weitergehen darf in der Düngung mit Ammoniak zu Rüben und Kartoffeln und anderen Pflanzen, die eine entschiedene Vorliebe für den Salpeter haben.

Auch andere Salze als die Karbonate der alkalischen Erden haben in dahin gerichteten Versuchen einen grossen Einfluss gezeigt auf die Intensität des Nitrifikationsprozesses im Ackerboden und namentlich ist dabei die Wirkung der Kalisalze, besonders des Sulfates, sehr auffallend und ohne Zweifel von praktischer Bedeutung, wenn auch die physiologische Erklärung dieser Erscheinung noch nicht ganz deutlich ist. Die Wirkung des Kalisulfates ist namentlich auffällig auf stickstoffreichem, sauer reagierendem Weideboden**).

Man begreift aus diesem Sachverhalt die grosse Bedeutung der nitrifizierenden Organismen***) für den normalen Bestand einer guten Ackererde und dass auf diesen Gesichtspunkt z. T. die durch die Empiriker sogenannte „Thätigkeit“ des Ackerbodens zurückzuführen ist, deren völlige Erklärung den Agrikulturchemikern so viel

*) Es ist dies mithin ein genaues Analogon zu der Rolle des kohlen-sauren Kalkes oder Zinkes bei der Milchsäuregärung. In beiden Fällen dienen diese Stoffe zur Neutralisation der durch die Thätigkeit der niedrigen Organismen erzeugten Säure (gegen welches Exkret im freien Zustand dieselben so sehr empfindlich sind), ohne selbst die Masse im voraus stark alkalisch zu machen.

**) Compt. rend., 117, p. 670.

***) Ob bei der Nitrifikation direkt Nitrate gebildet werden oder z. T. zunächst Nitrite, ist praktisch ziemlich gleichgültig, da die letzteren leicht auch auf anorganischem Wege in die ersteren (unter Mitwirkung der Kohlensäure des Bodens) übergeführt werden. Vergl. Müntz: Compt. rend., 112, p. 1142.

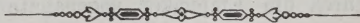
zu schaffen machte und noch macht. Es ist darin einer der Gründe vorhanden, warum ein künstlich sterilisierter Boden in sehr vielen Fällen weniger fruchtbar erscheint als ein solcher im ursprünglichen Zustande.

Das Auffinden der nitrifizierenden Organismen im Boden hat natürlich Veranlassung gegeben zu dem Suchen nach anderen kleinen Lebewesen*) in demselben und die dahin gerichteten Studien haben bewiesen, dass es noch verschiedene dahingehörige gibt, denen mannigfaltige und unerwartete physiologische Reaktionen eigentümlich sind. Man hat auf diese Weise auch solche gefunden, die denitrifizierend wirken, unter anderem solche, welche Salpetersäure quantitativ in freien Stickstoff umsetzen**), wieder andere, die Ammoniak oder Nitrite erzeugen. Diese, zumal die ersteren, sind natürlich schädlich für den Ackerbau. Über die Verbreitung dieser Organismen in bestimmten landwirtschaftlich oder geologisch zu charakterisierenden Böden sind indessen noch keine genügenden Gesichtspunkte gegeben, so dass wir uns hier mit diesem kurzen Hinweise zufriedenstellen müssen.

Mit diesen Andeutungen hätten wir sodann unsere Betrachtungen über die chemischen, physikalischen und physiologischen Eigenschaften des Ackerbodens beendet. Unsere weiteren Untersuchungen werden nun Bezug haben müssen auf die wirtschaftlichen Eingriffe, durch welche die für die Pflanzenkulturen günstigen Zustände erreicht werden können, und geben daher das, was gewöhnlich unter dem Namen einer *Lehre von der Düngung* zusammengefasst wird. Diesem Gegenstande wird der folgende Teil dieser Vorlesungen gewidmet sein.

*) Die interessante von E. Laurent (Les microbes du sol) festgestellte Thatsache, dass Buchweizen auf sterilisiertem Humusboden eine viel stärkere Mineraldüngung verlangt, harrt ihrer Erklärung auf Grund ähnlicher noch unbekannter Prozesse.

**) Vergl. Aberson und Giltay: Arch. Neerl., 25, p. 341. Nach Untersuchungen von Leone (Forschungen a. d. Gebiete d. Agrikulturphysik, 1891, p. 38) wird bei der gewöhnlichen Nitrifikation erst salpetrige Säure, dann Salpetersäure gebildet, und lässt frische Düngung an die Stelle der Nitrifikation zunächst Denitrifikation unter Bildung von Ammoniak treten. Vergl. auch Müntz und Coudon: Compt. rend., 116, p. 395.



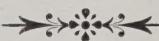
LEHRBUCH
DER
AGRIKULTURCHEMIE
IN VORLESUNGEN

VON
DR. ADOLF MAYER.

ZWEITER THEIL.
ZWEITE ABTHEILUNG.
DIE DÜNGERLEHRE.

MIT IN DEN TEXT GEDRUCKTEN ABBILDUNGEN.

VIERTE VERBESSERTE AUFLAGE.



HEIDELBERG.
CARL WINTER'S UNIVERSITÄTSBUCHHANDLUNG.
1895.

DIE DÜNGERLEHRE

IN ZWÖLF VORLESUNGEN

ZUM GEBRAUCH AN UNIVERSITÄTEN
UND HÖHEREN LANDWIRTSCHAFTLICHEN LEHRANSTALTEN
SOWIE ZUM SELBSTSTUDIUM

VON

DR. ADOLF MAYER,

PROFESSOR UND VORSTAND DER HOLLÄNDISCHEN REICHSVERSUCHSSTATION IN WAGENINGEN.

VIERTE VERBESSERTE AUFLAGE.



HEIDELBERG.

CARL WINTER'S UNIVERSITÄTSBUCHHANDLUNG.

1895.

Das Recht der Übersetzung in fremde Sprachen wird vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis

des zweiten Abschnittes des zweiten Theils.

Die Düngerlehre.

Erste Vorlesung, p. 3—20.

Die Düngung. Begriff der Düngung. — Die natürliche Entstehung dieser wirtschaftlichen Maassregel. — *Übersicht über die natürlichen und künstlichen Düngemittel.*

Zweite Vorlesung, p. 21—39.

Der Stalldünger. Die tierischen Exkremente. Grundzüge des tierischen Stoffwechsels. — Die Exkremente der Haussäugetiere und des Federviehs. — *Die Einstreu.*

Dritte Vorlesung, p. 40—57.

Der Stalldünger. (Fortsetzung.) *Veränderung des Mistes auf der Dungstätte.* — *Mittel zur Konservierung des Mistes.*

Vierte Vorlesung, p. 57—71.

Der Stalldünger. (Schluss.) *Die verschiedene Beschaffenheit des Mistes.* — Berechnung der Zusammensetzung aus der Fütterung. — Die Jauche. — Verwendung der einzelnen Mistarten. — *Das Defizit im Stallmiste vom Standpunkte des Wiederersatzes.*

Fünfte Vorlesung, p. 71—90.

Die menschlichen Auswurfstoffe. Die Bedeutung der Latrinestoffe als Düngemittel. — Konservierungsmittel der menschlichen Auswurfstoffe. — Verschiedene Methoden der Städtereinigung.

Sechste Vorlesung, p. 90—106.

Weitere der Landwirtschaft entstammenden Düngemittel. Die Knochen als Düngemittel. — Düngemittel vegetabilischen Ursprungs. — *Natürliche und künstliche Dünger.*

Siebente Vorlesung, p. 106—126.

Die sogenannten künstlichen Düngemittel des Handels. Düngemittel tierischen Ursprungs. — *Die phosphorsäurereichen Handelsdünger.*

Achte Vorlesung, p. 126—147.

Die sogenannten künstlichen Düngemittel des Handels. (Schluss.) *Die stickstoffhaltigen Spezialdünger.* — *Die Kalidünger.* — *Düngergemische.*

Neunte Vorlesung, p. 148—166.

Die erdartigen und die indirekten Düngemittel. Warferde- und Schlamm düngungen.
— Der Gips. — Kalk und Mergel.

Zehnte Vorlesung, p. 167—186.

Düngungsversuche. Prinzipien bei Ausführung von Düngungsversuchen. — Der agrikulturchemische Düngungsversuch. — Der praktische Düngungsversuch. — Demonstrationenfelder.

Elfte Vorlesung, p. 187—206.

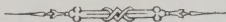
Die Düngung vom wirtschaftlichen Standpunkte aus. Das Düngerkapital und die wirtschaftlichen Gesetze seiner Verwendung.

Zwölfte Vorlesung, p. 206—223.

Die Düngung vom wirtschaftlichen Standpunkte aus. (Schluss.) Die Rentabilität der Düngung. — Die Notwendigkeit des Raubbaus unter bestimmten Umständen. — *Ziele der agrikulturchemischen Forschung in Bezug auf die Düngerlehre.*

Druckfehler und Verbesserungen.
Teil II. Abteilung 1.

Pag. 56, Zeile 11 von unten lies Sekunde statt Stunde. Auch beruht der Inhalt der betreffenden Note auf einem Missverständnisse des englischen Textes. Der Verfasser, der experimentell mit dem Gegenstande beschäftigt ist, denkt in kurzem in den Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik auf denselben zurückzukommen.



Zweiter Abschnitt.

Die Düngerlehre.

Erste Vorlesung.

Die Düngung. — Übersicht über die natürlichen und künstlichen Düngemittel.

Durch das Studium der Pflanzenernährung gelangt man in den Besitz der Kenntnisse der Bedingungen, welche der vegetabilische Organismus an seine Umgebung stellt.

Bei den üblichen Betrachtungen über die Eigenschaften der Ackererde dem Pflanzenwachstum gegenüber lernt man die natürlichen Momente kennen, durch deren Zusammenwirken jene Eigenschaften auf einem von Menschenhand noch unverändertem Boden wesentlich bestimmt werden. Die letzteren Momente lassen sich definieren als *die ursprüngliche geognostische Beschaffenheit der mineralischen Grundlage der Ackererde, der Grad und die Richtung ihrer chemischen Veränderung, die mechanische Trennung der verschiedenen Verwitterungsprodukte und endlich die Einwirkung des Pflanzenwuchses selber.*

Es kann uns indessen nicht verborgen bleiben, dass für einen kultivierten Boden, zu dessen Betrachtung wir uns in den folgenden Vorlesungen ausschliesslich wenden, noch ein neues Moment hinzutritt, von dessen Wirksamkeit die Fruchtbarkeit eines solchen Bodens ebenso abhängen muss wie von der der übrigen Momente. Wenn in einem Urwald oder sonst auf einem unbebauten Stück Land eine Pflanzengeneration der andern folgt, so ist beim Aufblühen der einen die alte immer noch in ihren Trümmern vorhanden. Die neu sich entfaltende Vegetation findet in diesen Trümmern eine reichhaltige und in der Regel zweckmässige Nahrung vor; sie befindet sich sogar meistens unter günstigeren Ernährungsbedingungen als ihre Vorgängerin, namentlich wenn diese von einem noch unbewohnten Boden Besitz ergreifen musste. Der Praktiker braucht sich nur an die Erfolge der Gründüngung zu erinnern, um eine Illustration hierzu vor Augen zu haben. Die Gründe für die Erscheinung werden schon in der landwirtschaftlichen Bodenkunde genugsam dargelegt*).

Um indessen einen Begriff davon zu erhalten, was durch den systematischen Eingriff des Menschen in diese natürlichen Verhältnisse an Fruchtbarkeitsbedingungen verändert wird, müssen wir uns klar zu machen versuchen, was eigentlich durch die Ansammlung von Pflanzenresten in Bezug auf die einzelnen Fruchtbarkeitsfaktoren geschieht, denn die *erste Veränderung*, die sich mit dem beginnenden Ackerbau einstellt, besteht ja eben in der *Wegführung* eines Teils dieser Pflanzensubstanz, welche dem natürlichen Lauf der Dinge nach auf den Feldern verblieben wäre. Wir werden uns dies im Besitze der vorausgesetzten Kenntnisse leicht mit einigen Worten ins Gedächtnis zurückrufen können.

*) Siehe die 4. Vorlesung des ersten Abschnitts des II. Teils meines Lehrbuchs der Agrikulturchemie, p. 58 u. f.

Jene Einwirkung des Pflanzenwuchses auf den Boden besteht wesentlich in der Einverleibung von verwesenden Substanzen, deren chemische und physikalische Vortheile für die Ackererde in der Bodenkunde eingehender beleuchtet werden. Ich erinnere nur an die reichlichere Quelle an gebundenem Stickstoff und an Kohlensäure, welche in einem mit Pflanzenresten durchdrungenen Boden vorhanden ist. In Bezug auf die Aschenbestandteile besteht dagegen die ganze Veränderung in einer Konzentrierung an der Bodenfläche und einer Überführung derselben in im allgemeinen zugänglichere Formen. *Die absolute Menge* der auf einem Grundstück bis in grössere Tiefen vorhandenen Aschenbestandteile bleibt dagegen, von den in der Regel nicht sehr ausgiebigen Auswaschungsprozessen abgesehen, auch bei der reichhaltigsten und jahrhundertlang währenden natürlichen Vegetation *ungeändert*. Wir haben auch Ursache anzunehmen, dass der durch die Atmosphäre zugeführte, teilweise aus dem Weltmeer stammende mineralische Staub für diese Ernährung keineswegs in Betracht komme; denn sonst wäre die Unfruchtbarkeit der meisten Heideländereien einfach unbegreiflich. Wenn wir also Boden und darauf befindliche Vegetation als ein Ganzes betrachten, so können wir sagen, dass überall dort, wo nicht wie in unserem landwirtschaftlichen Betriebe systematisch Ernten entnommen werden, stets die Summe derjenigen pflanzlichen Nährstoffe, deren Umtrieb nicht durch die Atmosphäre besorgt wird, auf einer und derselben Grundfläche dieselbe bleiben wird, wenn auch deren Anordnung vielfach eine andere und vielleicht manchmal dem Pflanzenwuchs günstigere wird, und hierin namentlich die Thätigkeit tiefwurzelnder Gewächse ausserordentliches zu leisten vermag. Hieraus folgt nun der unserer Erfahrung sehr geläufige Satz, dass ein mit Pflanzen bestandener Boden, welcher von der Menschenhand unberührt bleibt, auch in ewigen Zeiten nichts an seiner Befähigung, der Vegetation zu dienen, einbüsst, vielmehr bis zu einem gewissen Grade von Jahr zu Jahr fruchtbarer wird, wenn nicht sonst zufällige Hindernisse, wie Versumpfung des Terrains, Verdichtung der Krume*) oder eine starke Veränderung der Neigung der Bodenfläche, störend eingreifen.

Ganz anders gestaltet sich aber diese Sachlage, wenn der Mensch, welcher von allen Geschöpfen allein eine regelmässige Ernte vornimmt, Jahr für Jahr den Boden eines Theils seines Ertragnisses beraubt. Durch diesen Eingriff wird natürlich der Boden (mit den ihm angehörigen Pflanzen und Pflanzenresten zusammen als ein Ganzes betrachtet) um die Bestandteile der entnommenen Erntemassen ärmer; und wenn wir diesen Verlust auf einzelne Faktoren der Bodenfruchtbarkeit zu verteilen suchen, so müssen wir sagen, dass durch die Ernteentnahme zumal die Stickstoffquelle für eine neue Vegetation, sowie einige günstigen physikalischen Eigenschaften vermindert werden, und dass ein Gleiches für die Aschenbestandteile unausbleiblich ist.

Allein hier findet ein beachtenswerter Unterschied statt. Organische Substanz und Stickstoff sind dem ursprünglichen Boden als solchem nicht oder (was den Stickstoff angeht) nur in sehr geringen Mengen eigentümlich und werden erst durch die Vegetation in demselben angehäuft; der letztgenannte Körper ist im weitesten Sinne des Wortes wie Kohlenstoff ein atmosphärisches Nahrungsmittel der Pflanze.

*) Vergl. O. Pitsch: Die Theorie der Bodenbearbeitung etc., p. 87.

Seine Ansammlung im Boden ist daher absolut, und würde alles einmal Niedergelegte immer wieder ausschliesslich zu neuer Produktion dienen, so würde die Bereicherung an diesem Nährstoffe eine dauernde sein, wie dies im Moorboden auch wirklich beobachtet wird. Es lässt sich daher in Bezug auf den Stickstoff eine regelmässige Ernteentnahme denken, welche die Fruchtbarkeit des Bodens nicht beeinträchtigte: nämlich unter der Annahme, dass es sich um eine Fruchtfolge mit vielen, den freien Stickstoff der Luft benutzenden schmetterlingsblütigen Gewächsen handelt, oder auch der freilich nur für ganz extensive Bewirtschaftungsmethoden zutreffenden Voraussetzung, dass die Entnahme an jenem Stoffe durch die Ernte nicht grösser sei, als der periodische Zufluss an denselben aus der Atmosphäre.

Nicht so bei den Aschenbestandteilen. — Für diese tritt durch den Akt der Entnahme von Ernten eine *absolute Verminderung* ein; es giebt für dieselben keine andere natürliche Quelle als der Boden, und dieser ist, als Ganzes betrachtet, durch jenen Vorgang an ihnen verarmt. Diese Sachlage kann zwar lange verhüllt bleiben, wenn der Boden ursprünglich reich an mineralischen Nährstoffen war und wenn eine Konzentration dieser Bestandteile in den obersten Bodenschichten durch tiefwurzelnde Gewächse veranlasst wird, — allein sie strebt unabänderlich einem und demselben Ziele zu, das ferne, aber unverrückbar dasteht, der *völligen Verarmung des Bodens an unentbehrlichen Aschenbestandteilen**).

Für die sogenannten atmosphärischen wie für die mineralischen Pflanzennährstoffe können wir aber in gleicher Weise behaupten, dass die einseitige Entnahme

*) Auf diese bemerkenswerte Verschiedenheit des Verhaltens der einzelnen in den Pflanzenresten enthaltenen Fruchtbarkeitsfaktoren lässt sich der für die Praxis der Düngewirtschaft gefährliche Satz Liebig's (Grundsätze der Agrik.-Chem., 1855, p. 57 u. a.; Die Chemie etc., 1862. Einleitung p. 37 u. a. vielen anderen Orten. Ähnliches auch in den Schriften seiner Anhänger; vgl. v. Seilern: Pflanzenernährungslehre, p. 66, 238 u. a. m.) zurückführen, der in so vielen Variationen ausgesprochen wurde: Die atmosphärischen Bestandteile des Bodens demselben nach der Ernte wiederzugeben, sei keine Sache des Ersatzes, sondern bloss eine Maassregel zur Erlangung höchster Bodenerträge; stickstoffhaltige Dünger wirkten nur *beschleunigend* auf die Erträge und nicht auf deren Höhe im ganzen ein, der Hauptvorteil bei ihrer Anwendung sei Zeitgewinn und dergleichen mehr. Alle diese Sätze, welche einen so befremdenden Unterschied zwischen den Pflanzennahrungsmitteln verschiedenen Ursprungs auch hinsichtlich der Art ihrer Wirksamkeit zu machen sich bestreben, schmelzen bei näherer Besichtigung zu dem oben Ausgeführten zusammen. Dieselben werden erst in ihrer Form verständlich, wenn man sich durch fortgesetztes Wegführen von Pflanzensubstanz einen Boden gänzlich an Mineralstoffen verarmt denkt, wo ihm dann allerdings eine zwar spärliche, aber doch nie versiegende Quelle von sogenannten atmosphärischen Nahrungsmitteln zur Verfügung steht. Da aber diese Grenze in der praktischen Landwirtschaft niemals erreicht wird, so erhält jener Unterschied keine praktische Bedeutung und die Liebig'sche Ausdrucksweise ist als unpräzise und zweideutig zu vermeiden. — Dass in der neuesten Zeit das Studium der Ernährung der Leguminosen bis zu einem gewissen Grade auf eine Ansicht des Stickstoffs als atmosphärischen Nahrungsmittels zurückführt, kann nur von durch ihre Begeisterung für den Reformator der Agrikulturchemie verblendeten Jüngern Liebig's als eine notwendige Erfüllung der ursprünglichen Lehre angesehen werden; denn das heisst diesem geradezu divinatorische Gaben zuschreiben.

von Pflanzenprodukten für ein vom Menschen occupiertes Grundstück eine Verminderung und ausserdem (wie aus den früher geschilderten weiteren Vorteilen der Einverleibung von Pflanzensubstanz ersichtlich ist) eine Verschlechterung mancher Bodeneigenschaften veranlassen muss, dass somit ein lange bebautes Grundstück, dem man nur Ernten entzieht, notwendig unfruchtbarer werden muss, wenn es auch ganz von spezifischen klimatischen und Bodeneigenschaften abhängig sein wird, ob dies Resultat nach einigen Ernten zu Tage tritt oder erst nach Jahrhunderten eines konsequenten Anbaus zum Vorschein kommt. Es bedarf diese Folgerung aus der Theorie der Pflanzenernährung keiner weiteren pathetischen Versicherung, sie ist gleichzeitig ein nur zu bekannter Erfahrungssatz einer jeden landwirtschaftlichen Praxis.

Dabei lässt sich *in allgemeiner Weise* auch nicht die Frage beantworten, ob es in diesem Falle vorzüglich der Mangel an Aschenbestandteilen, an stickstoffhaltiger Nahrung oder an physikalischen Bodeneigenschaften ist, welcher zuerst eine Abnahme der Erträge bewirkt. Eine Antwort hierauf würde wieder je nach der vorhergehenden Konstitution der Ackererde, je nach der Beschaffenheit der atmosphärischen Vegetationsbedingungen sehr verschieden gegeben werden müssen. Die *äusserste*, aber ganz und gar unverrückbare Grenze wird allerdings unter allen Umständen durch die beschränkte Menge von Aschenbestandteilen, welche in einem Grundstück vorhanden sind, gebildet, während die übrigen Fruchtbarkeitsbedingungen niemals bis auf den letzten Rest aufgezehrt werden können.

Zu einem ziemlich zutreffenden *Begriff der Düngung* gelangt man nun, wenn man diejenigen landwirtschaftlichen Manipulationen als solche bezeichnet, die jenes so sich ergebende Defizit auszugleichen bestimmt sind; d. h. wenn man die Stoffzufuhr, welche dem Boden einen Ersatz bieten soll für die weggeführte Ernte, Düngung nennt. Doch liegt in dieser Begriffsbestimmung keine ganz scharfe Definition und sie birgt sogar die Gefahr in sich, zu jener einseitigen Ersatzlehre zu verleiten, die vor einiger Zeit selbst geeignet erschien, die gesunden Prinzipien einer rationellen Düngewirtschaft zu gefährden.

Wir brauchen uns nur ein wenig in der praktischen Landwirtschaft umzusehen, um zu erkennen, dass Düngung und Ersatz des Entnommenen durchaus nicht identisch sind, wenn sie auch häufig zusammenfallen, da natürlich die ihrer produzierten Pflanzenmassen beraubten Felder der einfachen Wahrscheinlichkeit nach vorzugsweise oft einen Mangel an den in diesen Massen enthaltenen Stoffen empfinden werden. Wir brauchen uns nur daran zu erinnern, dass viele ganz unkultivierte Strecken, von denen bis dahin niemals eine Ernte entnommen wurde, in intensiv bewirtschafteten Ländern gar nicht selten durch eine der Ernte vorausgehende Düngung in Kultur (z. B. die nach dem Torfstiche zurückbleibenden Flächen der Hochmoore in den holländischen Moorkolonien, Sandflächen für Gemüsekultur, die Urbarmachung von kolonialen Waldböden zu Plantagen) gesetzt werden, dass wir ferner eine Reihe von Düngemitteln verwenden, die wie Gips und Mergel ihrer natürlichen Zusammensetzung nach den entnommenen Pflanzenprodukten zu unähnlich sind, um sie als ein Surrogat für dieselben ansehen zu dürfen. Ich brauche nur noch hinzuzusetzen — was sich nicht unmittelbar durch Anschauung erkennen lässt —, dass auch manche in der landwirtschaftlichen Praxis (z. B. beim Tabaks-

bau)*) üblichen Düngungen namentlich in ihrer Menge, aber auch in ihrer Zusammensetzung der entnommenen Ernte sehr unähnlich sind, und dass auch die ähnlichen den Postulaten der Ersatzlehre keineswegs entsprechen, und wir werden erkennen, dass die versuchte Begriffsbestimmung, trotz ihrer historischen Bedeutung für die Entwicklung unserer Erkenntnisse und so zweckmässig sie daher auch war, uns auf die Notwendigkeit der Düngung im allgemeinen hinzuweisen, im einzelnen durchaus unrichtig ist.

Als *Düngung* wird vielmehr zu bezeichnen sein *eine jede Zufuhr von Stoffen**)* auf landwirtschaftlich benutzten Grundstücken in der Absicht, jetzt oder in Zukunft den Ertrag derselben zu steigern; als *Dünger* jeder Stoff, welcher in dieser Absicht Verwendung findet.

Nachdem wir so (freilich mehr durch einen glücklichen Griff als durch eine Herleitung) zu dem Begriffe einer Düngung gelangt sind, kehren wir, um eine richtige Vorstellung von der Möglichkeit einer rein empirischen Auffindung der in der Landwirtschaft gebräuchlichen sog. natürlichen Düngemittel zu erlangen, dennoch zu dem zuerst eingeschlagenen Wege zurück, die Nützlichkeit des Düngers zuerst von dem Standpunkt des Ersatzes aus zu betrachten; denn eben diese natürlichen Dünger haben in der Praxis fast einzig deshalb eine Bedeutung erlangt, weil sie zunächst einen Ersatz für das durch die Ernte Entnommene zu bieten vermögen. Man darf eben trotz der gegebenen Begriffsbestimmung und wenn es auch häufig wirtschaftlich geboten erscheint, mehr zu geben, als man genommen hat, oder weniger, vielleicht auch ganz andere Stoffe zu geben, als man genommen hat, nicht aus dem Auge verlieren, dass das fortdauernde Nehmen ohne einen äquivalenten Ersatz schliesslich unter allen Umständen zur Bodenverarmung, zur absoluten Unfruchtbarkeit führen muss, welche in allen Fällen unwirtschaftlich ist, und dass daher diejenigen Düngungsmethoden, welche einen ungefähren Ersatz bieten, stets, aber namentlich im Anfang des Entstehens solcher Methoden, eine hervorragende Rolle spielen werden.

Wir werden, diesen Weg verfolgend, uns noch einmal eingehender die Frage zu beantworten suchen, was durch die regelmässige Vornahme von Ernten *an einzelnen einfachen Fruchtbarkeitsbedingungen* in dem Boden *geändert wird*, und dabei vorzugsweise im Auge zu behalten streben, welche jener Änderungen für die gesamte Produktionsfähigkeit eines Grundstücks von entscheidender Bedeutung ist. Zunächst werden wir dabei die einzelnen Nährstoffe, welche eine verwesende Pflanzenmasse einer neuen Generation zu bieten vermag, in dieser Hinsicht zu prüfen haben. Lassen wir also die einzelnen Stoffe, deren die Pflanze zu ihrem Gedeihen bedarf, und mit Berücksichtigung dieser Verhältnisse, vor unserem geistigen Auge vorübergehen.

Unter diesen Stoffen können *Sauerstoff* und *Wasser* ganz ausser acht gelassen werden; der erstere wird unter keinerlei Umständen von einer verwesenden

*) Vergl. Landw. Versuchsst., 38, p. 100.

**) Auf dies Wort ist hierbei ein besonderer Nachdruck zu legen, weil es nicht ankommt auf die mechanische *Form*; denn sonst könnte — was lächerlich genug wäre — am Ende auch ein Legen von Drainröhren unter die hier gegebene Definition von Düngung fallen.

Pflanzenmasse erzeugt, das andere wird in so grossen Mengen von der Pflanze verbraucht, dass die durch Verwesung gelieferten Mengen nicht in Betracht kommen können. Ein indirekter Einfluss der Pflanzenreste im Boden auf den Wasserreichtum desselben und auf dessen Fähigkeit, die kommende Vegetation mit Wasser zu versorgen, sowie auf dessen Durchlüftung besteht allerdings in hohem Maasse, ein Einfluss indessen, der selbstverständlich bei den physikalischen Eigenschaften eines an vegetabilischen Resten reichen Bodens Erledigung finden muss.

Die *Kohlensäure* ist ein Pflanzennährstoff, der zwar ganz und gar aus der Atmosphäre genommen werden kann, dessen Vorhandensein im Boden das Pflanzenwachstum aber unter Umständen erheblich unterstützt*). Es kommen hierbei zwar neben direkt nährenden Wirkungen vorzüglich indirekt nützliche Wirkungen dieser Kohlensäure auf die Ackererde, bestehend in der Beschleunigung des Verwitterungsprozesses, Überführung von Nährstoffen in die Bodenlösung**) u. s. w. in Betracht; allein es ist für unsern augenblicklichen Zweck nicht nötig, diese Wirkungen streng auseinanderzuhalten. — Bei Verringerung der Pflanzenreste im Boden durch regelmässige Vornahme von Ernten wird also offenbar eine wichtige Fruchtbarkeitsbedingung auf ein Minimum reduziert, und hierin liegt ohne alle Widerrede häufig einer der Gründe, der die Abnahme der Erträge auf einem so behandelten Grundstück veranlasst. Daraus folgt, dass bei der natürlichen Auffindung von Düngemitteln vorzugsweise auch solche ins Auge fallen mussten, die in Bezug auf Kohlensäureentwicklung etwas Ähnliches zu leisten vermochten wie die weggenommenen Pflanzensubstanzen.

Salpetersäure (respektive Ammoniak) ist ein Pflanzennährstoff, der in einem von Pflanzenresten entblösten Boden in so geringer Menge vorhanden ist und auch von der Atmosphäre während der Dauer einer Vegetationsperiode in so geringen Mengen geliefert wird, dass eine unter gewöhnlichen Umständen sich entwickelnde Vegetation in ihrem Bedarf an diesem Stoffe wesentlich auf diejenigen Mengen angewiesen ist, die durch Verwesung von stickstoffhaltigen organischen Substanzen im Boden in Freiheit gesetzt werden. Eine regelmässige Beraubung eines Grundstücks an den auf ihm produzierten Pflanzenmassen ist deshalb in Bezug auf die Stickstoffernährung der nun gepflanzten Gewächse beinahe gleichbedeutend mit einem Anbau derselben auf einem bis dahin vegetationsleeren Boden. Wir können deshalb mit voller Entschiedenheit aussprechen, dass die Erträge auf einem Boden, dem seine Produkte kontinuierlich ohne entsprechenden Wiedersatz genommen werden, auch deshalb zurückgehen müssen, weil den auf ihm wachsenden Pflanzen eine allzu kärgliche Stickstoffnahrung zu Gebote steht, ohne hierbei freilich zu verkennen, dass verschiedene Gewächse wegen ihres verschiedenen Vermögens, den Stickstoff tieferer oder seichter Bodenschichten auszunützen, und noch viel mehr wegen der eigentümlichen Stickstoffassimilation der meisten Leguminosen sich jener Verminderung der Stickstoffnahrung im Boden gegenüber sehr verschieden empfindlich erweisen werden.

Diejenigen *Aschenbestandteile* der weggeführten Ernten, welche zugleich Nährstoffe sind, können in vielfacher Hinsicht gemeinschaftlich abgehandelt werden. Sie

*) Vergl. die 21. Vorlesung des I. Teils meines Lehrbuchs der Agrikulturchemie.

**) Ebenda die 4. Vorlesung des I. Abschnittes des II. Teiles.

alle erleiden durch die Wegnahme der geernteten Pflanzensubstanz eine absolute Verminderung. Allein hier sind schon jetzt wesentliche Unterschiede in Betracht zu ziehen, da die einzelnen Aschenbestandteile in sehr verschiedenen Mengen in der Ackererde vorhanden zu sein pflegen und ausserdem wiederum in sehr verschiedenen und von jenen unabhängigen Mengen in die Zusammensetzung der geernteten Bestandteile eingehen. So kommt es, dass vorzüglich nur für einige Aschenbestandteile jener Ausfall fühlbar wird und dass — da sie einander nicht vertreten können — diese einseitige Verminderung schon eine Abnahme der Bodenrerträge veranlasst, auch wenn viele anderen mineralischen Nährstoffe noch in übergrossen Mengen vorhanden sind*).

Die *Schwefelsäure* ist, um, soweit nötig, zu den einzelnen mineralischen Nährstoffen überzugehen, ein Stoff, welcher in den meisten Böden nur in sehr geringen Mengen vorhanden ist. — Ich verweise in Bezug auf diese wie auf die später aufzustellenden Behauptungen unter anderem auf die Gesteinsanalysen**). — Allein der Elementarbestandteil, dessen Träger die Schwefelsäure ist, geht auch nur in verhältnismässig geringen Mengen in die Zusammensetzung der Pflanzen ein***), so dass der Mangel an diesem Bestandteile doch nicht leicht fühlbar wird.

Anders ist es mit der *Phosphorsäure*. Auch sie kommt nur in geringen Mengen im Boden vor, geht aber in weit grösseren Verhältnissen in die Zusammensetzung der Pflanzen ein als die Schwefelsäure, zeigt also in Bezug auf schleunige Ausraubung des Bodens das möglichst ungünstige Verhältnis. In der That ist es diese unter den Aschenbestandteilen für die gewöhnlichen Verhältnisse des natürlichen

*) Man muss, um tiefer in dieses Problem einzudringen, im Auge behalten, dass sich zwar jedenfalls das Bedürfnis aller Gewächse auf dem Wege der natürlichen Züchtung an die gewöhnliche Zusammensetzung der Ackererde gewissermaassen angepasst hat (obgleich man noch keine künstliche Züchtung der Gewächse in betreff ihres Nährstoffbedarfs versucht oder eine natürliche beobachtet hat — indessen wäre hierdurch ein zwar schwieriger, aber für die Theorie der physiologischen Bedeutung der Nährstoffe viel Aufschluss versprechender Weg angedeutet), dass ferner in der Zusammensetzung der Bodenarten, dem gemeinsamen Ursprung entsprechend, eine gewisse Übereinstimmung besteht, dass aber nun nicht, wie man vielleicht denken sollte, infolge der Wegnahme der produzierten Pflanzensubstanz eine ganz gleichmässige Änderung des Gehalts des Bodens an den mineralischen Nährstoffen eintreten kann, weil eben einzelne dieser Stoffe ganz vorzugsweise befähigt sind, rasch in grossen Mengen in die Pflanzen überzutreten, und dass für diese bei Wegnahme der Erntemasse eine ganz besonders grosse Beraubung, bei deren Verbleib eine ganz besonders grosse Bereicherung an diesen Stoffen in verfügbarer Form eintreten muss. Wenn man dieses Verhalten beachtet, so kann einem nicht verborgen bleiben, dass gerade, weil sich die Pflanze in ihrem Bedarf einigermaassen nach den natürlichen Verhältnissen, d. h. also nach den Verhältnissen eines an verwesenden Pflanzenstoffen reichen und nicht eines noch unberührten Bodens gerichtet hat, die Wegnahme dieser Stoffe für einzelne der Nährstoffe, welche in geringer Verbreitung im ursprünglichen Boden vorhanden sind, aber bei der Stoffaufnahme begünstigt werden, sich empfindlicher geltend machen muss.

**) A. a. O. II. Teil, I. Abschnitt, p. 18.

***) Ich verweise hier wie bei den gleich folgenden Parallelstellen auf die in der 19. Vorlesung des I. Teils der Agrikulturchemie mitgeteilten Aschenanalysen.

Bodens und die üblichen Kulturen zuerst, in Bezug auf welche sich namentlich nach den praktischen Erfahrungen bei ungenügendem Ersatz ein Mangel fühlbar macht, und in dem Phosphorverlust ist unter den gegebenen Verhältnissen eine weitere Ursache zu sehen, warum die Ernten ohne Ersatzleistung häufig in verhältnismässig kurzer Zeit die Fruchtbarkeit eines Bodens beeinträchtigen.

Es ist dann für diesen Nährstoff wie für jeden andern noch besonders auf den Umstand aufmerksam zu machen, dass diejenige Menge desselben, die wirklich in die produzierte Pflanzenmasse übergeht, nicht genügt, um als Bestandteil des Bodens die Produktion derselben zu ermöglichen, sondern dass im Boden eine weit grössere Menge in dem Zustand, in welchem er für die betreffende Pflanzenwurzel zugänglich ist, vorausgesetzt wird, um jenen Erfolg sicher zu stellen. Es ergibt sich dieses Verhältnis einfach aus den Gesetzen der Stoffaufnahme. Es ist bei Betrachtung dieser Gesetzmässigkeiten zu ersehen, dass es teilweise der direkten Berührung der feinsten Wurzelfasern mit den ungelösten Stoffteilchen bedarf, um diese Stoffe in den Pflanzenorganismus einzuführen, dass namentlich bei der Phosphorsäure diese Form der Stoffaufnahme eine hervorragende Rolle spielt. Und auch, wo dies nicht nötig ist, gilt etwas Ähnliches. Aus dieser Sachlage folgt nun ohne weiteres, dass, da nur eine gewisse beschränkte Anzahl von Bodenteilchen mit den Wurzelspitzen in Berührung treten kann, nicht alles Verfügbare in einer Vegetationsperiode aufgenommen werden kann, und dass es von der Art der Bewurzelung abhängig sein muss, wieviel von einer gegebenen Menge fester Nahrungsstoffe aufgenommen werden kann, oder welche Menge dieser Stoffe mindestens erforderlich ist, damit nicht durch den entstehenden Mangel das Pflanzenwachstum Schaden leidet. Dieses Minimum hat im allgemeinen wenig mit der Menge des in der produzierten Pflanzenmasse enthaltenen Stoffs zu thun und kann bei verschiedenen Pflanzen je nach dem Bewurzelungssystem in sehr verschiedenem Verhältnis zu dieser stehen. Ich erwähne dies nebenbei, um gleich von vornherein vor Irrtümern in dieser Richtung zu bewahren.

Das *Kali* ist durchschnittlich in sehr viel beträchtlicheren Mengen im Boden vorhanden als die Phosphorsäure*) und die Schwefelsäure, wird aber demselben auch in sehr bedeutenden Mengen — durchschnittlich viel bedeutenderen als die Phosphorsäure — durch die Pflanzen entzogen. Häufig ist dasselbe in den Böden (in allen denen, in welchen sich noch unverwitterte Gesteinsreste finden) in zur Zeit wenig zugänglicher Form vorhanden, so dass leichter durch die Entnahme von Ernten ein vorübergehender Mangel entstehen wird, der sich aber meistens nach einer Zeit der Ruhe, namentlich wenn gleichzeitig der Verwitterungsprozess befördert wird, wieder ausgleichen wird. — Übrigens ist es für Kali, wie namentlich auch für den Kalk, durchaus vom Übel zu generalisieren, da in Bezug auf diese Stoffe verschiedene Bodenarten die grössten Unterschiede zeigen. Bei alledem ist das Kali der Stoff, für den sich, wenn auch nicht in demselben Grade, ohne allen Zweifel nächst dem Stickstoff und der Phosphorsäure eine fortgesetzte Wegführung der produzierten

*) Über Phosphorsäure- und Kaligehalt der verschiedensten Gebirgsarten und Fossilien vergl. die Zusammenstellung Stöckhardt's: Jahresber. f. Agrik.-Chemie, 1862—63, p. 203.

Pflanzenmasse ohne genügenden Ersatz als von den bedenklichsten Folgen begleitet zeigt, und dessen Unentbehrlichkeit für die Gewächse eine weitere Ursache dafür ist, dass die fortdauernde Ernte ohne Düngung nach kürzerer oder längerer Zeit eine Abnahme der Ertragsfähigkeit des Bodens mit sich bringt.

Die übrigen unzweifelhaften Nährstoffe *Kalk*, *Magnesia*, *Eisen* können wir mit einigen Worten abthun. Dieselben sind durchschnittlich in den Ackererden in weit grösserer Menge und zwar in verfügbarer Form vorhanden, als die Pflanzen von ihnen in sehr vielen Ernten gebrauchen. Der Gehalt der Ackererden an Kalk und Magnesia ist freilich ausserordentlich verschieden. In Kalk- und Dolomitböden besteht häufig (nicht immer) die Hauptmasse des Bodens aus diesen Stoffen; in andern Böden treten dieselben bis auf Bruchteile von Prozenten in den Hintergrund. Allein selten würde sich auch bei länger fortgesetzter Entnahme ohne Ersatz ein wirklicher Mangel an diesen Stoffen herausstellen, ohne dass längst der Mangel an Stickstoff, Phosphorsäure und selbst Kali sich geltend gemacht haben würde, und wo ein solcher Boden dringend Kalkzufuhr erheischt, da ist es seltener die direkte Wirkung des Kalks als Nährstoff, als die indirekt nützliche Wirkung desselben in der Ackererde, welche für unseren Zweck von Bedeutung ist und von der wir daher noch ausführlich zu sprechen haben werden*). So wichtig infolgedessen Kalkdüngungen, wo sie am Platze sind, sich erweisen werden, so kann von einem erheblichen Nutzen der Kalkmengen, die durch die Ernte entzogen werden, schon aus dem Grunde nicht wohl die Rede sein, weil zu jenen physikalischen Wirkungen sehr viel grössere Mengen dieses Bestandtheiles erforderlich sind. Infolge von Magnesiamangel unfruchtbare Ackererden werden wohl nur in ganz vereinzelt Fällen beobachtet**). Beim Kalk tritt also der Gesichtspunkt des Ersatzes neben anderen noch wichtigeren Gesichtspunkten in den Hintergrund. Bei der Magnesia hat selbst der erstere keine grosse praktische Bedeutung.

Die regelmässige Fortführung der produzierten Pflanzenmasse wirkt aber noch auf eine andere Weise als durch Entzug der wichtigsten Nährstoffe vermindern auf die Ertragsfähigkeit eines Grundstücks ein, nämlich durch Veränderung und in der Regel Verschlechterung der physikalischen Eigenschaften desselben. Jene Pflanzenmasse repräsentiert nicht bloss eine gewisse Summe von Nährstoffen, die in derselben vorhanden sind oder sich aus derselben entwickeln, sie ist ausserdem der Sitz von ganz bestimmten Eigenschaften, welche sie durch ihre Einverleibung in die Ackererde derselben überträgt oder in derselben hervorruft. Wir erinnern uns, was in den Vorlesungen über die physikalischen Eigenschaften des Bodens über die Bedeutung verwesender organischen Überreste für dieselben gesagt wurde***). Die dunkel gefärbten humosen Stoffe erhöhen ausserordentlich die Erwärmungsfähigkeit des Bodens und damit dessen Ertragsfähigkeit in kälteren Klimaten; die gleichen Stoffe vermehren die Wasserkapazität des Bodens und damit dessen Ertragsfähigkeit namentlich in trockenen Lagen und Klimaten etc. Aus diesen zwei Gesichtspunkten schon erhellt die Bedeutung pflanzlicher Überreste, auch abgesehen von deren übrigen physikalischen

*) Vergl. die 9. Vorlesung.

**) Vergl. z. B. Landw. Versuchsst., 38, p. 103.

***) Vergl. die 8. bis 10. Vorlesung des ersten Abschnittes des II. Teils.

Eigentümlichkeiten, und es liegt somit eine weitere Ursache zu Tage, warum die Ernte ohne Ersatz nach und nach ein Zurückgehen in den Erträgen veranlassen muss.

Dabei ist freilich nicht ausser Augen zu lassen, dass die Erhaltung nützlicher physikalischen Eigenschaften nicht die Einverleibung der ganzen produzierten Pflanzenmasse erheischt. In dieser Beziehung stehen überhaupt, wie wir schon genugsam hervorgehoben haben, die Aschenbestandteile ganz vereinzelt da. Es kann im Gegenteil gesagt werden, dass vorzugsweise in feuchteren Länderstrichen eine fortwährende Anhäufung der ganzen produzierten organischen Substanz gar nicht günstig wirken würde, da dort in vielen Fällen die Bedingungen zu einer hinreichend schnellen Verwesung fehlen und durch allzugrosse Anhäufung von humosen Substanzen wenig kompakte Böden mit sehr verdünnten Nährstoffen, dagegen von allzugrosser Wasserkapazität und namentlich von zu geringer Wärmeleitung mit einer Reihe von Übelständen gebildet werden würden, von denen noch gelegentlich die Rede sein wird.

Alles in allem genommen, vermögen wir aber nun auch insbesondere einzusehen, warum eine fortdauernde Wegführung der produzierten Pflanzensubstanz auf die künftige Ertragsfähigkeit eines Grundstücks schädigend einwirken muss. Es werden je nach der Beschaffenheit des Bodens, nach den Ansprüchen der angebauten Kulturpflanzen, nach klimatischen Verhältnissen sehr verschiedene Dinge sein, die in erster Linie das Ertragsvermögen beeinträchtigen. Eine Fruchtbarkeitsbedingung aber erleidet unter allen Umständen eine unabwendbare, wenn auch langsam fortschreitende und oft erst spät zu Tage tretende Verminderung — die wirksamen, aber sparsam im Boden vertretenen Aschenbestandteile.

Soweit in unseren Betrachtungen vorgerückt, können wir uns nun mit Aussicht auf Erfolg die Frage stellen: *welche Substanzen waren es wohl, auf welche die Blicke der Menschen naturgemäss fallen mussten, als es sich um eine Ertragssteigerung der durch fortgesetzte Ernteentnahme ausgeraubten Felder handelte?* — Es bedarf keines besonderen Hinweises, dass die Erkenntnis, welche den Menschen an allen Orten und zu allen Zeiten zu der Anwendung der natürlichen Düngemittel geführt hat, eine rein empirische gewesen ist. — Wie könnte dem auch anders sein? — Der Ackerbau, zu dessen Grundlagen fast an allen Orten eine geordnete Düngewirtschaft gehört, ist nach unsern kulturgeschichtlichen Erfahrungen die erste Grundlage einer höheren Kultur und diese wieder die unabänderliche Voraussetzung zu einer wissenschaftlich theoretischen Erkenntnis. Eine klare naturwissenschaftliche Einsicht in die physischen Verhältnisse des Pflanzenlebens, in den Nährstoffbedarf dieser Organismen und eine Theorie der Düngung wird deshalb ebensowenig der praktischen Manipulation der Düngung vorausgehen können, als etwa ein einzelnes Individuum mit dem Verdauen warten kann, bis man ihm die Theorie dieses Vorgangs und die Prinzipien einer rationellen Verdauung beigebracht hat, weil auch hier die physische Entwicklung des Individuums der intellektuellen vorausgehen muss, und der Vollzug jenes physiologischen Aktes bei der ersteren eine Rolle spielt, die Theorie desselben aber erst durch die letztere gegeben werden kann.

Wir sehen infolgedessen bei allen ackerbautreibenden Völkern, bei denen die äussern Umstände es erheischen, ganz unabhängig von ihren naturwissenschaftlichen

Kenntnissen Düngungsmethoden auf rein empirischem Wege sich ausbilden; und aus dieser Sachlage geht nun weiter hervor, dass es verhältnismässig leicht gewesen sein muss, auf dem Wege der unmittelbaren Erfahrung Düngestoffe als solche kennen zu lernen und überall in den gleichen Stoffen die Düngbefähigung zu erkennen. Als *physisch* am naturgemässesten, wenn auch in ihrer wirtschaftlichen Zweckmässigkeit anfangs kaum begreiflich, erscheint allerdings diejenige Düngungsmethode, wobei die gewachsene Pflanzensubstanz durch Unterpflügen dem Boden einverleibt wird — die Gründüngung. Durch diese Manipulation, durch die freilich der wirtschaftliche Zweck des Pflanzenbaues verfehlt zu werden scheint, wird offenbar dasselbe in noch vollkommenerer Weise erreicht, was die Natur an allen von Menschenhand unberührten, mit Pflanzen bestandenen Flächen thut; es werden diejenigen Verhältnisse hergestellt, unter denen und nach denen sich erst das Bedürfnis der Gewächse gebildet hat. Die wirtschaftliche Möglichkeit einer derartigen Kulturmethode erhellt nun einfach daraus, dass es auf diese Weise gelingt, das Ertragnis einer nachfolgenden Pflanze derart zu steigern, dass sich dadurch unter gewissen Verhältnissen der Aufwand an Saatgut, Arbeit und der Verlust der Grundrente auch für das erste Gewächs bezahlt macht. Daraus ergibt sich aber zugleich, dass die Gründüngung naturnotwendig nicht die einzige Düngungsmethode sein kann; denn entweder wird der wirtschaftliche Zweck der Pflanzenproduktion für Tier und Mensch nicht erreicht, oder unsere angestellte Betrachtung über die notwendige Abnahme der Bodenfruchtbarkeit bleibt bestehen, die dann doch zur Aufsuchung anderer Düngemittel zwingt *).

Die Stoffe, auf welche vielmehr die Blicke der Menschen zunächst fallen mussten, sind die *Exkremente der Haustiere*, deren Wirksamkeit als Düngemittel wir mit unseren heutigen Kenntnissen theoretisch abzuleiten befähigt sind — einmal deshalb, weil der Ackerbau kulturgeschichtlich aus dem Hirtenleben sich herausentwickelt **) hat und die Viehhaltung dann neben dem reinen Ackerbau durch alle Kulturperioden fort und fort betrieben wird, mithin jedem ackerbautreibenden Volke die tierischen Exkremente sehr bekannte Stoffe sind; — zweitens deshalb, weil die Wirkung dieser Stoffe auf natürlichen Weideplätzen so in die Augen fallend ist, dass sie selbst einem ungeübten Blicke nicht entgehen kann. Wir wissen, wenn wir an die Grundzüge des tierischen Stoffwechsels uns erinnern, dass die tierischen Exkremente in Bezug auf ihr Verhalten als Pflanzennahrungsmittel sehr ähnlich zusammengesetzt sind wie die

*) In naturwissenschaftlicher Beziehung braucht eigentlich nichts Weiteres mehr über Gründüngung gesagt zu werden, da ihr Wesen mit dem schon geschilderten Nutzen der Einverleibung von Pflanzensubstanz in den Boden zusammenfällt. Daraus ergibt sich zugleich, dass massig sich entwickelnde, tiefwurzelnde, nicht zu anspruchsvolle und viel Stickstoff assimilierende Pflanzen, wie z. B. die Lupinen, sich besonders zur Gründüngung eignen. Alles übrige liegt auf dem Gebiete der Empirie. In wirtschaftlicher Beziehung ist nur anzudeuten, dass die methodische Gründüngung eine viel grössere Menge von Arbeit voraussetzt als die Düngung durch Weidegang, Pferch und dergl., und deshalb intensiveren Perioden angehört als diese, dagegen in den intensivsten Perioden wieder in den Hintergrund tritt. Daher auch die bekannte Opposition von Julius Kühn gegen die Übertreibungen der modernen Lehre der Gründüngung mit Leguminosen im Jahre 1892.

**) Vergl. Roscher: Nationalökonomik d. Ackerbaus, 1865, p. 48 u. f.

tierische Nahrung, und verstehen so ohne weiteres, warum dieselben im stande sein müssen, Ersatz für jene dem Boden entnommenen pflanzlichen Stoffe, welche ja eben zur tierischen Ernährung dienen, zu leisten.

Allein für unsere Aufgabe wird es notwendig sein, die Änderung in Zusammensetzung und Eigenschaften, welche eine Pflanzenmasse beim Durchgang durch den tierischen Organismus erfährt, einer genaueren Prüfung zu unterwerfen, weil wir nur so im stande sind, den Unterschied zu verstehen, der zwischen einer Düngung mit der Ernte selbst und einer Düngung mit den aus ihr hervorgegangenen tierischen Exkrementen besteht, und auf welchen sich gewisse Folgerungen für das Wesen der Stallmistwirtschaft gründen.

Das Gesamtergebnis des tierischen Stoffwechsels in Bezug auf die in den Tierorganismus eintretenden und aus demselben austretenden Substanzen lässt sich mit einigen Worten abmachen, wenn man, wie wir dies vorerst thun wollen, einstweilen darauf verzichtet, die Thatsache des Stoffansatzes im Tierkörper und der Bildung von Sekreten aus demselben, also der gelegentlichen Lieferung anderer Substanzen, welche nicht als Dünger Verwendung finden, d. h. also Fleisch- und Fettansatz, Milch- und Wollproduktion durch das Tier, zu berücksichtigen. Diese Vernachlässigung hat übrigens auch nur eine Korrektur in Bezug auf die Menge, nicht aber wesentlich auf die Zusammensetzung der Exkremente zur Folge. Es lässt sich alsdann sagen, dass das als Futter Eintretende von dem als Exkrement Austretenden sich unterscheidet durch einen beträchtlichen Verlust an organischer Substanz, welche durch den Atmungsprozess in der tierischen Lunge zerstört wird, dass Stickstoff und Aschenbestandteile quantitativ unverändert, aber in wesentlich anderer Form in den Exkrementen vorgefunden werden.

Der Stickstoff wird durch den tierischen Stoffwechsel für die Pflanzenernährung gleichsam aufgeschlossen. Sehr deutlich zeigt sich dies Verhalten in der landwirtschaftlich bekannten Thatsache, dass Gründüngung selten Lagergetreide*) erzeugt, häufiger aber Stallmistdüngung, weil in diesem Falle der Stickstoff rascher und unter Umständen zu rasch wirkt. Ganz etwas Ähnliches findet für die Aschenbestandteile statt.

Alles in allem genommen, können wir etwa folgende Veränderungen der Futterstoffe beim Passieren durch den tierischen Körper konstatieren. Die organische Substanz ist in den Exkrementen auf etwa die Hälfte reduziert. Diese werden also hinsichtlich der Kohlensäureentwicklung, der Fähigkeit, humusartige Stoffe im Boden anzuhäufen, also auch hinsichtlich aller der physikalischen Eigenschaften, die jene Anhäufung zur Folge hat, weniger zu leisten im stande sein, als wenn

*) Ausnahmen besprochen bei Wagner (Fühling's Landw. Zeitung, 42, p. 703). Auch kann, wie aus den Untersuchungen des genannten Forschers hervorgeht, der N in Gründüngung von grösserem Wirkungswerte sein, wenn die betreffende Pflanzensubstanz in sehr jugendlichem Zustand untergepflügt wird, wodurch aber nicht die Thatsache berührt wird, um die es sich hier handelt, dass nämlich durch den Durchgang durch den Tierkörper an und für sich der Düngerwert des Stickstoffs sich vergrössert. Auch scheint der von W. zur Vergleichung herangezogene Stallmist von besonders geringer Qualität (arm an flüssigen Bestandteilen) gewesen zu sein. Vergl. übrigens seine Verteidigung gegen J. Kühn: Landw. Presse, 1895, Nr. 11.

jene Futterstoffe ungeerntet und ungefüttert als solche dem Boden einverleibt worden wären. Stickstoff und Aschenbestandteile sind, obige Voraussetzungen wiederholt, in ungeänderter Menge, aber in tauglicherer chemischer Form in den Exkrementen enthalten.

Man wird mithin für die Wirksamkeit der tierischen Exkremente im Vergleich zu der Wirksamkeit der Futterstoffe, aus denen sie hervorgegangen sind, als Düngemittel im allgemeinen aussprechen können, dass, da nur Kohlensäureentwicklung und Humusbildung bei ihnen verhältnismässig gering sind, diese aber ohne Schaden für die Vegetation etwas herabgedrückt werden können, und in Bezug auf die andern Fruchtbarkeitsfaktoren eine Verbesserung eingetreten ist, im ganzen die Düngung mit den Exkrementen vorteilhafter auf das Gedeihen der kommenden Vegetation wirken wird, als der Verbleib der ungeernteten Pflanzenmassen auf den Feldern. Wenn man trotzdem Gründung zuweilen vorzieht, so liegt das in Ersparung von Transportkosten oder anderen wirtschaftlichen Verhältnissen.

Eine derartige Beantwortung kann der Natur der Sache nach nicht für einen jeden einzelnen Fall streng richtig sein, da in verschiedenen Böden und für verschiedene Kulturen sehr verschiedene Fruchtbarkeitsfaktoren in zu geringem Verhältnis für ein möglichst günstiges Zusammenwirken vorhanden sein können. So sind auch an organischen Stoffen sehr arme Böden denkbar, welche ihrer physikalischen Beschaffenheit nach einer Einverleibung grosser Massen organischer Substanzen bedürftig sind und für welche eine Düngung mit der Pflanzensubstanz selbst vorteilhafter gewesen wäre. Allein solche Fälle können wohl als eine Ausnahme betrachtet werden, und im allgemeinen wird die gegebene Beantwortung die richtige sein. Es ist noch besonders darauf hinzudeuten, dass ein Teil der Wirkung der Kohlensäure bei der Düngung mit Exkrementen deshalb unnötig wird, weil sich in denselben die mineralischen Stoffe in einem sehr zugänglichen Zustande befinden und deshalb die geringere Menge, die sich aus jenen entwickeln kann, um so weniger eine ernstliche Beeinträchtigung der Fruchtbarkeit herbeiführen wird.

Man wird dem Resultat, zu welchem wir gekommen sind, um so eher beipflichten können, wenn man sich an die oft erwähnte Thatsache erinnert, dass es in einem rein mineralischen, von Pflanzen bis dahin noch nicht occupierten, Boden in der Regel mehr der Mangel an genügender Stickstoffnahrung ist, der das Gedeihen der meisten Gewächse in demselben erschwert, als der Mangel günstiger physikalischen Eigenschaften und namentlich der Mangel einer Kohlensäurequelle. Stickstoff ist aber in den Exkrementen der Tiere in ungeschmälerter Menge und verhältnismässig leicht verfügbarer Form vorhanden. — Endlich werden die Aschenbestandteile bei der Düngung mit Exkrementen unter den oben gemachten Voraussetzungen selbstverständlich keine Verminderung erleiden, es sei denn durch Auswaschen der Ackererde und dergleichen Prozesse — immer vorausgesetzt, dass die der geernteten Pflanzenmasse entsprechende Menge von tierischen Exkrementen Verwendung findet.

Nach den gegebenen Erläuterungen wird man leicht die Befähigung der Exkremente der pflanzenfressenden Tiere, als Düngestoffe zu dienen, und ebenso die Leichtigkeit, mit welcher dieser Sachverhalt aufgefunden werden konnte, begreifen. Es darf dabei nicht vergessen werden, dass diesen Stoffen ausser der Düngebefähigung

eine jede andere Befähigung, wirtschaftlichen Zwecken zu dienen, völlig abgeht. Den Nahrungswert für Tiere, den die Futtermittel vor dem Passieren des tierischen Körpers besessen hatten, haben dieselben beim Austritt aus diesem fast völlig verloren. Einen geringen Wert als Brennmaterial besitzen die Exkremente allerdings noch, aber nur in Ländern äussersten Holz mangels*); sonst sind kaum je technische Anwendungen**) von denselben gemacht worden, und um so mehr sind jene Stoffe von der Natur zu Düngemittel gestempelt. — Nichts ist vielleicht bezeichnender für diese Sachlage, als dass den Laien in landwirtschaftlichen Dingen noch heute „Mist“ und „Dünger“ als synonyme Begriffe erscheinen, wie sie es jedenfalls in früherer Zeit gewesen sind***), und dass jene sich auch einen „künstlichen“ Dünger nicht anders als stinkend und ekelhaft vorstellen können.

In der That sind nun auch die Exkremente der Haussäugetiere als die naturgemässesten Düngestoffe in sehr früher Zeit als solche verwendet worden. Schon die geschichtlichen Urkunden des grauen Altertums machen mannigfache Mitteilungen, die auf die Verwendung jener Exkremente zur Düngung aufs sicherste hinweisen, ganz abgesehen von der unwillkürlichen Düngung durch den Weidegang der Tiere. Dort hat man offenbar zuerst die Wirkung beobachtet, die jene Stoffe auf das Pflanzenwachstum ausüben, namentlich wenn in der Nähe der Lagerstätten der Tiere sich Düngestoffe angehäuft hatten. Man hat dann ohne Zweifel angefangen, jene Stoffe zu verteilen, um eine gleichmässige Wirksamkeit zu erzielen, und so haben sich dann nach und nach die einfachsten Düngungsmethoden ausgebildet.

Homer†) erwähnt in der Odyssee des Stalldüngers, Xenophon†) giebt Ratschläge, denselben durch Vermischen mit vegetabilischen Abfällen, Erde und dergleichen zu vermehren. Ähnliche Methoden scheinen auch bei den Juden üblich gewesen zu sein. Was aber vielleicht am meisten von allen Nachrichten für die genaue Kenntnis des Werts dieser Stoffe als Düngemittel im griechischen Altertume spricht, ist die Thatsache, dass in hellenischen Gesetzen der Düngerdiebstahl†) mit Strafen bedroht war. Bei den Römern nun vollends finden wir raffiniertere Düngungsmethoden, die unsern heutigen in mancher Beziehung ausserordentlich ähnlich sehen. Wir werden später gelegentlich noch von diesen zu sprechen haben.

Nachdem man sich nun einmal gewöhnt hatte, die tierischen Exkremente zu sammeln und zur Düngung zu verwenden, lag es in der Natur der Dinge, auch eine Reihe von anderen Stoffen auf ihre Düngebefähigung zu prüfen und die Entdeckung weiterer Düngemittel nicht mehr dem Zufall zu überlassen. So haben sich denn ohne Zweifel bei verschiedenen Völkern und in den verschiedenen Kulturperioden,

*) Vergl. z. B. Schleiden: Baum und Wald, 1870, p. 87; u. a. vielen andern Orten.

**) Als solche sind zu nennen: die Ammoniaksalzfabrikation aus tierischen Abfällen und einige Verwendungen von Kot und Harn in der Färberei. In Ungarn baut man freilich mit getrocknetem torfartigem Mist Ställe und dergl.

***) Die holländische Sprache gebraucht jetzt noch das eine Wort „mest“ in der doppelten Bedeutung, während der vlämische Dialekt für Dünger den Ausdruck „vette“ hat, ganz analog wie im Französischen „engrais“ gegenüber „fumier“ steht.

†) Die betreffenden Citate bei Conrad: Liebig's Ansicht von der Bodenerschöpfung, 1864, p. 144.

von denen, wie wir später erkennen werden, die Düngungsarten vielfach abhängig sind, verschiedene Düngungsmethoden ausgebildet.

Vor allem musste der Blick auch auf die *menschlichen Exkremente* fallen, und man sollte vielleicht denken, dass diese Stoffe, für die sich ja theoretisch fast genau dasselbe sagen lässt, was wir vorhin für die Düngebefähigung der tierischen Exkremente angeführt haben, gleichzeitig mit jenen in dieser Eigenschaft hätten erkannt und als Dünger verwendet werden müssen. Allein dem steht bei näherer Betrachtung mehreres entgegen. Wir werden später die Zusammensetzung der menschlichen Exkremente, welche von der der Ausscheidungen der Pflanzenfresser abweicht und der Verwendbarkeit jener einige Schwierigkeiten entgegengesetzt, kennen lernen; an dieser Stelle genügt es, hervorzuheben, dass schon etwas umständlichere und für die Bequemlichkeit der Menschen wenig dienliche oder aber kostspielige Einrichtungen zur Aufsammlung dieser Stoffe nötig sind; dass die mit der Landwirtschaft beschäftigte Bevölkerung notwendig weit auseinander wohnt und die auf ein einzelnes Landgut entfallenden menschlichen Exkremente nur einen sehr kleinen Bruchteil auszumachen pflegen von den tierischen, wiewohl sie ohne Zweifel diesen schon in früherer Zeit gelegentlich einverleibt worden sind; dass andererseits die Benutzung der städtischen Auswurfstoffe grosse Transportkosten verursacht, welche erst in sehr intensiven Perioden von der Landwirtschaft aufgebracht werden können. Hierzu kommt noch die natürliche Verschleuderung des Urins, welcher gerade die wertvollsten Düngbestandteile enthält, infolge bekannter menschlicher Gewohnheiten.

Überall da, wo es durch die wirtschaftlichen Verhältnisse geboten war, treffen wir übrigens auch schon im Altertum Benutzung der menschlichen Exkremente in der Landwirtschaft. Der Kloakeninhalt des alten Roms ist sorgsam zur Düngung der in der Nähe der Stadt befindlichen Gärten verwendet worden, wie denn auch die übrigen Düngungsmethoden der Römer das Gepräge einer sehr intensiven Wirtschaft an sich tragen. — Die Araber sollen sogar schon lange vor unserer Zeitrechnung nicht bloss die menschlichen Exkremente als Dünger benutzt, sondern auch eine Art der Umwandlung derselben in eine feste transportable Form, also eine wahre Poudrettefabrikation, betrieben haben, was in einem heissen trockenen Klima natürlich verhältnismässig leicht gelingt. — Wenn man die Verwendung der menschlichen Auswurfstoffe in der Geschichte oder durch verschiedene Länder dann weiter verfolgt, so erkennt man überall deutlich den Zusammenhang dieser Düngungsart mit der intensiven Kultur; denn später geht sie in jenen Ländern wieder verloren, nachdem sich die Betriebssysteme unter dem Einfluss der wirtschaftlichen Verhältnisse geändert hatten. Nichts vermag aber diesen Satz deutlicher zu belegen als die ausgedehnte Anwendung menschlicher Exkremente zur Düngung in China und Japan, in Ländern, wo eine ausserordentlich dichte Bevölkerung zu einem intensiven Betriebssysteme zwingt und keinerlei Viehhaltung in grösserem Maassstab betrieben wird*), also kein Stalldünger in erheblichen Mengen zur Verfügung steht**).

*) Wo sich also, um einen wenig schönen, aber sehr verbreiteten Ausdruck zu gebrauchen, die „Depekoration“ vollzogen hat.

**) Vergl. hinsichtlich dieses Gegenstandes die 12. Vorlesung.

Ich habe dieser interessanten Beziehung schon hier flüchtig Erwähnung gethan, um zu zeigen, dass es nicht in erster Linie die erhöhte naturwissenschaftliche Erkenntnis des Wesens der Düngung ist, welche z. B. heute die landwirtschaftliche Benutzung des Abtrittdüngers anbahnt, sondern hauptsächlich die wirtschaftlichen Verhältnisse, dass — worauf es an dieser Stelle allein ankommt — jene Stoffe zu jeder Zeit und von jedem Volke durch sogenannte rohe empirische Erkenntnis in ihrer Düngebefähigung erkannt worden sind*) und nur ihre Anwendung durch Umstände sekundärer Art häufig verhindert worden ist.

Alle derartigen Materialien, deren Entstehung sie unfehlbar zu Düngemitteln stempelt, und die deshalb, mit Ausnahme einiger wenigen durch atmosphärische Einflüsse in ihrer Zusammensetzung sehr veränderten Guanosorten, als *absolute* Düngemittel bezeichnet werden können, haben in sehr früher Zeit ohne alle Theorie Verwendung gefunden. Auch *natürliche* Dünger heissen sie später im Gegensatz zu dem künstlich bereiteten sog. *Kunstdüngemittel*.

An diese Stoffe reihen sich nun an und können grösstenteils auch als absolute Düngemittel gelten: alle Materialien, die direkt oder indirekt pflanzliche Produkte sind, aber nicht endgültig als tierische Exkremente auftreten, obwohl sie ähnlich wie diese keiner erheblichen anderweitigen Verwendung fähig sind, — *tierische* und *pflanzliche Abfälle* aller Art. Die Befähigung pflanzlicher Abfälle als Düngemittel brauchen wir nicht erst zu erweisen, sie ist uns nach früher Gesagtem ohne weiteres verständlich**), und für die tierischen genügt die Bemerkung, dass die Organe der Tiere in Bezug auf düngende Bestandteile denen der Pflanze durchaus ähnlich zusammengesetzt sind, und dass gerade Stickstoff und Phosphorsäure in sehr grossen Mengen in denselben sich aufgespeichert finden. In diese Abteilung gehören also Substanzen wie Malzkeime, Weintreber, Ölkuchen, Stroh, Laub, Schilf, Plaggen, Torf und dergleichen einerseits, Wollabfälle, Haare, Überreste der Leimfabrikation, Knochen, Horn, Fischabfälle und dergleichen andererseits. Bei allen diesen Substanzen ist schon durch ihre Abstammung ihre Düngebefähigung ohne weiteres verständlich, und viele derselben haben schon in sehr früher Zeit praktische Verwendung gefunden.

Allein selbst mit dieser ganzen Reihe von Stoffen sind die Düngemittel, welche mittelbar oder unmittelbar Produkte des Pflanzenlebens sind, noch nicht abgeschlossen. Wir haben neben den genannten noch solche zu unterscheiden, welche ebenso wie

*) Genau in derselben Weise ist die *Guanodüngung* kein Ergebnis der erhöhten Einsicht in die Gesetze der Pflanzenernährung; der Guano wurde vielmehr in den Gegenden, wo er sich abgelagert findet, schon in so früher Zeit als Düngemittel benutzt, als wir überhaupt sichere Nachrichten von den betreffenden Ländern besitzen, und da derselbe auch nichts anderes ist als eine Ansammlung tierischer Exkremente (Vogelmist), die nur teilweise unter dem Einflusse der Atmosphärien eine mehr oder minder grosse Wandlung durchgemacht haben, so müssen wir wiederum dessen Verwendbarkeit als Düngemittel selbstverständlich finden, wenn auch vielleicht eine etwas grössere Aufmerksamkeit dazu gehört haben mag, diese Verwendbarkeit ausfindig zu machen.

**) „Alles, woraus die Pflanzen bestehen, befördert auch ihr Wachstum“, hat Rückert schon in früher Zeit ausgesprochen; vergl. Fraas: Geschichte der Landwirtschaft, p. 171.

die tierischen Exkremeute hervorgegangen sind aus dem Verbrennungsprozess pflanzlicher Stoffe, nur hervorgegangen aus einer weit intensiveren und vollständigeren Verbrennung als jene. Ich meine die *Aschen unserer Brennmaterialien*, seien diese letzteren nun Produkte des jetzigen Pflanzenlebens oder fossiler Natur. Dieselben stehen mit ihren Eigenschaften als Düngemittel gleichsam an der einen äussersten Grenze, die unverbrannten Pflanzensubstanzen an der andern, die Exkremeute als halbverbrannte pflanzlichen Stoffe in der Mitte. Doch genügt diese Andeutung noch nicht, um den Aschen ihre Stellung als Düngemittel bestimmt anzuweisen.

Da die Aschen völlig verbrannte Stoffe sind, so enthalten sie auch keine organischen Substanzen mehr, sie sind daher unvermögend, eine Quelle von Kohlensäure in der Ackererde hervorzurufen, desgleichen jene physikalischen Veränderungen daselbst vorzunehmen, welche für die verwesenden organischen Substanzen eigentümlich sind. Hierin liegt schon ein erheblicher Unterschied von der Wirkung der tierischen Exkremeute, welcher ganz zweifellos im allgemeinen ein für die Aschen nachteiliger genannt werden muss, wie wir nicht weiter anzuführen brauchen. — Daher rührt es dann, dass die Pflanzenaschen und die Aschen der fossilen Brennmaterialien trotz ihres Ursprungs doch nicht als absolute Düngemittel schlechtweg bezeichnet werden dürfen, da sie eben infolge des Prozesses, dem sie ihre Entstehung verdanken, in ihrer Zusammensetzung ausserordentlich von jenen verschieden sind und darum eine sehr einseitige Düngebefähigung besitzen.

Als Düngemittel, deren Wirkung von vornherein ebenso begreiflich ist, als die der bis jetzt betrachteten, können dann alle diejenigen aufgefasst werden, *welche in ihrer Zusammensetzung dem Boden ähnlich sind*, und dieser Gruppe von Düngestoffen müssen wir hier wenigstens schon kurz Erwähnung thun. Da ein auf natürlichem Wege gebildeter Ackerboden schon alle Elemente der Fruchtbarkeit in sich enthält, so ist uns die mögliche Verbesserung eines ungünstig zusammengesetzten Bodens oder eines durch Ernteentnahme erschöpften durch einen solchen leicht verständlich. Es ist klar, dass bei derartigen Bodenverbesserungen ganz vorzüglich diejenigen Bodenbestandteile eine Rolle spielen werden, die wir besonders als die Träger von Pflanzennährstoffen oder sonst günstigen Eigentümlichkeiten bezeichnet haben, also namentlich die thonigen aufgeschwemmten Massen eines ruhig fliessenden Stromes, mittelst derer eine Schlamm düngung erfolgt, oder der Mergel, der auch schon in der ältesten Zeit Verwendung als Düngemittel gefunden hat.

Ausser den genannten giebt es nun aber noch eine grosse Reihe von Düngestoffen, die mit Recht den Namen von *relativen* oder *spezifischen Düngemitteln* empfangen haben. Dieselben enthalten häufig nur ein einziges oder vielleicht zwei düngende Prinzipien und sind deshalb nur unter ganz bestimmten Verhältnissen von Wirksamkeit, unter andern aber ganz und gar unwirksam, selbst wenn an sich eine Steigerung der Erträge möglich wäre. Es ist aus diesem Verhältnis klar ersichtlich, dass derartige Stoffe durch einfache Beobachtung nur selten in ihrer Düngebefähigung werden erkannt werden können. Denkt man sich auch, dass alle möglichen Stoffe im Laufe der Zeiten zufällig oder absichtlich auf ihre Wirksamkeit als Düngemittel wären geprüft worden, so mussten doch alle diejenigen unter ihnen, die der Wahr-

scheinlichkeit nach nur hie und da, wenn gerade jene Umstände zutrafen, Mehrerträge erzielen konnten, solange man gar keine Anhaltspunkte besass für die Bestimmung dieser Umstände, als sehr unzuverlässige Düngemittel verworfen werden.

Zur allgemeinen Anwendung derartiger Düngemittel war daher eine klare Theorie der Pflanzenernährung notwendig, und deshalb fällt jene fast ausnahmslos in die allerneueste Zeit, wo sich eine solche Theorie der praktischen Landwirtschaft zur Verfügung gestellt hat. Aus demselben Grunde finden wir bei naturwissenschaftlich unentwickelten Völkern trotz aller Intensität des landwirtschaftlichen Betriebs, bei welcher die raffiniertesten Düngungsmethoden rentieren würden, keine Verwendung derartiger relativen Düngemittel, weil deren Brauchbarkeit eben nicht durch die empirische Methode festgestellt werden kann.

Das Gesagte gilt natürlich noch in vergrössertem Maassstabe für diejenigen relativen Düngemittel, die erst durch Fabrikation gewonnen werden. Die Methoden ihrer Darstellung können natürlich nur gefunden werden, wenn eine klar präzierte Ernährungstheorie, die den komplexen Begriff Düngestoffe in seine natürlichen Komponenten zerlegt hat, als Leitstern dient. Schon aus diesen Andeutungen geht hervor, dass das Studium der Vegetationsbedingungen schon Erfolge für den praktischen Pflanzenbau gehabt hat. Bei weitem die meisten relativen Dünger fallen in diese zweite Kategorie, da man auch die natürlich vorkommenden oder als Abfallstoffe gewonnenen bald künstlich zu verbessern lernte. Daher werden die in Bezug auf die Pflanzenernährung relativen Dünger namentlich vom Standpunkte ihrer Entstehungsweise auch *künstliche* Dünger genannt und den *natürlichen* gegenüber gestellt. Vom praktischen Standpunkte aus am zweckmässigsten und ziemlich auf dasselbe herauskommend, ist wohl eine dritte Bezeichnungsweise dieser relativen Düngemittel als *konzentrierte* oder *Handelsdünger*, wodurch die Frage, ob hierhin oder dorthin gehörig, wenigstens wenn auch nicht gelöst, so doch rasch coupiert wird.

Schliesslich kann man neben den sich so ergebenden Gruppen von Düngemitteln noch eine weitere Gruppe unterscheiden, welche als *indirekt wirkende Dünger* zu bezeichnen wäre. Man versteht unter dieser Bezeichnung solche Stoffe, die nicht durch ihren Gehalt an Pflanzennährstoffen, sondern aus irgend einer andern Ursache, meistens durch irgend eine chemische Reaktion im Boden, infolge deren Nährstoffe verfügbar werden, sich wirksam erweisen. Auch hier ist nicht (wie zwischen keiner der andern Gruppen) eine strenge Grenze zu ziehen. So müssten alle indirekt wirkenden Düngemittel gleichzeitig auch als relative bezeichnet werden, obwohl es deren giebt, denen eine so allgemeine Wirksamkeit zukommt, dass schon die Empirie ihre Düngebefähigung erkannte. Aber es ist nicht unzweckmässig, eine derartige Unterscheidung zu machen, weil dadurch der Gesamtüberblick erleichtert wird.

In den heute von uns gegebenen Rahmen werden wir dann suchen, in den nächsten Vorlesungen die einzelnen wichtigeren Düngemittel einzupassen und sie der Reihe nach einer näheren Betrachtung zu unterziehen.

Zweite Vorlesung.

Der Stalldünger. — Die tierischen Exkremente. — Die Einstreu.

Wir wenden uns in unseren Betrachtungen nunmehr den einzelnen wichtigeren Düngestoffen zu. — In unserer vorläufigen Übersicht haben wir erkannt, dass den *tierischen Exkrementen* eine ganz hervorragende Bedeutung in der Düngewirtschaft zukommt, und warum dies nicht anders sein kann. Wir haben in den Auswurfstoffen unserer landwirtschaftlichen Nutztiere Substanzen erkannt, die nicht bloss der Natur ihrer Entstehungsweise nach notwendig eine Zusammensetzung zeigen müssen, welche sie zu Düngestoffen absolut geeignet macht, sondern die ausserdem auch keine andere erhebliche technische Bedeutung besitzen, welche sie etwa der Verwendung in der Landwirtschaft streitig machen könnte. — Zugleich haben wir uns eine Vorstellung davon verschafft, wie die Anwendung dieser und ähnlicher Düngemittel zum Pflanzenbau schon möglich war, ohne jede stichhaltige Vorstellung von dem Wesen der Pflanzenernährung.

Die tierischen Exkremente aber finden nun in der Landwirtschaft gewöhnlich nicht als solche Verwendung, ausser beim Weidegang der Tiere oder der Methode des Pferchens auf Bauland, was freilich die einfachste Aufbringungsweise dieser Stoffe ist. Auch wo es sich, wie in einem grossen Teile von Holland, ausschliesslich um die Düngung von grossen Wies- und Weideflächen handelt, erleidet die gestellte Regel manchmal eine Ausnahme, indem alsdann die Aufmerksamkeit des Wirtes auf eine möglichst grosse Menge von flüssigem Dünger gerichtet ist. Deswegen kann man doch im allgemeinen behaupten, dass, wenn die Auswurfstoffe vom Standort der Nutztiere auf das Feld hinausgebracht werden müssen, dies fast nie in unvermischter Form geschieht, sondern immer gemischt mit anderen Substanzen, die als *Einstreu* bezeichnet werden, da sie in den Stall und unter die Füsse der Tiere eingestreut werden und so zum Einsaugen und Aufsammeln der Auswurfstoffe dienen. Das Gemenge beider Substanzen heisst erst *Mist* oder *Stallmist*; je nach der Tierart, von der die Auswurfstoffe stammen, *Kuhmist*, *Pferdemist*, *Schafmist* u. s. w.

Der Stallmist besteht also aus zwei konstituierenden Bestandteilen, und unsere Aufgabe wird es sein, denselben nicht bloss hinsichtlich der Tierart, von der die Exkremente stammen, sondern auch hinsichtlich dieser beiden Bestandteile ins Auge zu fassen. Wir werden mit der Betrachtung des unabänderlichen Gemengtheils aller Mistarten, der Exkremente unserer Haussäugetiere, beginnen. Der Weg, welcher zweckmässigerweise, um sich einen Überblick über die Zusammensetzung dieser Stoffe zu verschaffen, eingeschlagen wird, ist bereits im Verlauf der ersten Vorlesung angedeutet worden; es ist dies die Betrachtung des tierischen Stoffwechsels in seinen Hauptzügen.

Die vegetabilischen Futterstoffe, von denen sich alle hierhergehörigen Tiere ernähren, werden bekanntlich von diesen durch das Maul aufgenommen, dort durch

Kauen zerkleinert und gelangen mit dem Tränkewasser vermisch in den Magen, resp. die Mägen, um dort und in den mit ihm im kontinuierlichen Zusammenhang stehenden und in den After endigenden Därmen den Verdauungsprozess durchzumachen. Bei manchen der hierher gehörigen Säugetiere, den sogenannten Wiederkäuern, welche mit der grössten Verdauungsenergie begabt sind, gelangt die Futtermasse aus dem einen Magen noch einmal durch den Schlund aufwärts in das Maul zurück, um einer zweiten Kauung unterworfen zu werden — eine Modifikation des ganzen Prozesses, die uns hier nicht weiter berührt.

Ein je nach der Tierart und der verabreichten Futtermasse ziemlich verschiedener Anteil der der Verdauung unterworfenen Stoffe wird dabei (zum grössten Teil durch die Einwirkung eigentümlicher Enzyme) in Lösung übergeführt und durch die den Verdauungskanal umgebenden Chylus- und kapillaren Blutgefässe resorbiert und gelangt so in chemisch verwandelter Form in das Blut und damit eigentlich erst in das organisch Innere des tierischen Körpers. Die auf diese Weise assimilierten Nahrungsstoffe dienen dann zum Aufbau der verschiedenen Organe des Körpers zum Ersatz für die in demselben abgenutzten Stoffe, da das Blut vermöge seines weitverzweigten Laufs mit all diesen einzelnen Organen in Berührung kommt.

Zugleich tritt das Blut mit Hilfe anderer Verzweigungen des Gefässsystems in die Lungen ein und oxydiert daselbst einen Teil der in ihm enthaltenen organischen Bestandteile oder nimmt dort Sauerstoff auf, um ihn auf andere Gewebeteile zu übertragen. Es ist für unsern Zweck nicht notwendig, auf die Details dieser Vorgänge einzugehen, wir können sogar die eben erwähnte Thatsache ganz unbeachtet lassen, dass die frisch assimilierten Bestandteile des Blutes teilweise für abgängige Gewebelemente eintreten und diese dann, als solche zerstört, aus dem Blute entfernt werden. Wir können die Sache, ohne in Bezug auf das von uns zu Beachtende einen Fehlschluss zu thun, so auffassen, als ob bei einem Tiere, dessen Körperzusammensetzung keine Veränderung erleidet, die neu assimilierten Blutbestandteile direkt der Zerstörung anheimfielen und nur bei einem in der Abnahme begriffenen Organismus die Gewebeteile des Körpers selbst einer Zerstörung unterworfen seien, obgleich die Sache sich streng genommen nicht so verhält, da alle Organe, auch die, welche sich scheinbar im Stoffgleichgewicht befinden, einer stetigen Neubildung und Zerstörung unterworfen sind, wenn auch diese Thatsache der Gewebeerneuerung in populären Darstellungen oft stark übertrieben wird.

In der Lunge und durch die Haut der Tiere werden nun die flüchtigen Stoffe, welche aus der Zerstörung der Blutbestandteile resultieren, abgeschieden, nämlich die durch Verbrennung von organischen Substanzen erzeugte Kohlensäure und zugleich eine gewisse Menge Wasser. Der Verlust an organischer Substanz, welche die Futterstoffe auf diese Art erleiden, beträgt infolge dieses Verbrennungsprozesses bei der gewöhnlichen Fütterungsweise unserer Haustiere ungefähr 50 %. Aus der Nahrung stammenden Stickstoff oder stickstoffhaltige Gase enthält die Atmungsluft für gewöhnlich nicht.

Die übrigen Spaltungsprodukte der zerstörten Blutbestandteile, die nicht flüchtiger Natur sind, werden in Wasser gelöst, durch die Nieren aus dem Blute entfernt, in der Harnblase angesammelt und schliesslich als Urin nach aussen entleert. In diesem

Exkrete haben wir dann namentlich das stickstoffhaltige Spaltungsprodukt der in dem Blute zerstörten Proteinstoffe zu suchen, und der Stickstoffgehalt des Harns giebt uns einen genauen Maassstab für die Grösse des Stoffwechsels an diesen Substanzen, während uns die Kohlensäuremenge, die durch Lunge und Haut entfernt wird, einen Maassstab giebt für die Grösse des Umsatzes an organischer Substanz überhaupt.

Auch die Aschenbestandteile, die grossenteils unzertrennlich von ihren organischen Begleitern, welche unter ihrem Einfluss in der Pflanze entstanden sind und sich umgeformt haben, mit diesen aus dem Verdauungskanale in das Blut übergetreten sind, werden dann im Harn wiedergefunden. Auch sie sind in demselben, soweit sie wie der Schwefel in den organischen Pflanzenbestandteilen in reduzierter Form gegeben waren, grossenteils wieder höher oxydiert und daher zur erneuten Pflanzenernährung wieder geschickter gemacht, während die festen Auswurfstoffe der Hauptsache nach aus dem Rest des Unverdaulichen oder Unverdauten bestehen, also die Pflanzenstoffe mehr in unveränderter Form einschliessen. Doch besteht hier gerade bei den Pflanzenfressern ein eigentümliches Verhältnis, das zu berühren notwendig ist, wenn man die Verteilung der Aschenbestandteile auf Harn und Kot verstehen will. Es ist keinem Zweifel unterworfen, dass mit den Proteinstoffen auch deren treuer Gefährte, die Phosphorsäure*), aus der Verdauungsmasse des Darms in das Blut mit übertritt, denn das Blut und die Gewebeteile, die es durchtränkt, sind phosphorhaltig. Ich brauche nur an die Knochen zu erinnern, um auf ein Gewebe von hohem Phosphorgehalt aufmerksam zu machen, das wie die andern Gewebeteile auch nur aus dem Blute sich gebildet haben kann und sich durch das Blut fort und fort ernährt. Dennoch treffen wir in derjenigen Exkretionsflüssigkeit, welche wir als die Lösung der nicht flüchtigen Endprodukte des tierischen Stoffwechsels bezeichnet haben, gerade bei den Tierklassen, mit denen wir es hier vorzugsweise zu thun haben, keinen Phosphor an. Der Harn von Rindvieh, Pferd, Schaf ist phosphorsäurefrei oder enthält nur Spuren dieses Stoffes; der Schweineharn ist auch nach Genuss der meisten Futtermittel arm daran, während der Harn von Fleischfressern, also z. B. vom Hunde, eine sehr erhebliche und zu dessen Stickstoffgehalt in einem gewissen Verhältnis stehende Menge Phosphorsäure enthält. Damit steht dann die alkalische Reaktion des Harns jener Tiere, dessen Aufbrausen mit Säuren im Zusammenhang, da es bei Abwesenheit der Phosphorsäure an fixen Mineralsäuren zum Sättigen der Alkalien und alkalischen Erden beinahe gänzlich fehlt.

Dieses eigentümliche Verhalten würde für die Pflanzenfresser gar nicht zu verstehen sein, wenn es nicht bekannt wäre, dass sich bei allen Tieren Flüssigkeiten aus dem Blute in der Form von Drüsenabsonderungen in den Verdauungskanal zurückergiessen. Sämtliche Verdauungsflüssigkeiten sind solche Absonderungen, und wenn auch im allgemeinen angenommen werden kann, dass z. B. die fermentartigen Bestandteile jener Drüsensekretionen, nachdem sie ihren Dienst gethan, z. T. auch umgekehrt durch gemeinschaftliche Resorption mit der in Lösung übergeführten Verdauungsmasse wieder in das Blut zurückgelangen, so ist dies doch für gewisse Absonderungen der grössten aller Verdauungsdrüsen nicht der Fall. Die Gallen-

*) Vergl. über dieses Verhalten Agrikulturchemie, I. Teil, 17. Vorlesung, p. 264.

substanzen, welche in der Leber erzeugt werden, gehen, einmal mit dem Darminhalt vermischt, nur z. T. wieder in das Blut zurück, werden vielmehr grossenteils mit den nicht resorbierbaren Resten des Darminhalts als Fäces abgeschieden; sie sind es, welche diesen die braune Färbung erteilen. Wir haben es also in den Gallensubstanzen mit Endprodukten des tierischen Stoffwechsels zu thun, welche nicht im Harne, sondern mit den Fäces entleert werden.

Somit ist eine Möglichkeit gegeben, wie Stoffe, welche sich an dem Umsatz im tierischen Körper notwendig beteiligen, dennoch nicht in ihren nichtflüchtigen Resten im Harne nachgewiesen werden können. Wir haben dabei zu bedenken, dass gerade bei den Pflanzenfressern mit ihren ausgedehnten Verdauungswerkzeugen und ihren reichlichen und reichhaltigen Verdauungsflüssigkeiten jenes Verhalten eine besonders hervorragende Rolle spielen kann. Für den Phosphor haben wir nun jedenfalls einen derartigen Weg anzunehmen, ohne dass wir freilich mit Sicherheit anzugeben im stande wären, auf welchem Wege und in welcher chemischen Form der Rückgang desselben aus dem Blute in den Verdauungskanal stattfindet*). Vermutlich spielt beim Zurückhalten der Phosphorsäure in den Darmausleerungen, soweit jene nicht eigentliches Stoffwechselprodukt ist, speziell auch der grosse Gehalt der Nahrung der Herbivoren an oxalsaurem Kalke eine Rolle, indem lösliche Alkaliphosphate durch diesen Bestandteil in schwerlöslichen phosphorsauren Kalk verwandelt werden, wodurch dann oxalsaures Alkali in das Blut gelangt und dem Harn nach der Oxydation der organischen Säure an Kohlensäure die alkalische Beschaffenheit giebt. Daher dann dieselben Tiere, solange sie (in der Jugend) mit Milch oder wenn sie vorherrschend mit Körnern und Kleie oder (wie die Schweine) mit gemischter Nahrung ernährt werden, auch Phosphorsäure im Harn abscheiden. Dass es sich bei diesem Unterschiede hauptsächlich um einen solchen infolge der verschiedenen Ernährungsweise handelt, geht eben daraus hervor, dass gerade der Harn der omnivoren Schweine gelegentlich eine Ausnahme macht und dass eine solche Ausnahme auch besteht für die Pflanzenfresser im jugendlichen Zustande, wo ihre Nahrung noch z. T. aus Milch besteht**).

Andere Aschenbestandteile der Futtermittel finden wir dagegen regelmässig in dem Harn der pflanzenfressenden Haustiere wieder, ob in der ganzen Menge, in welcher sie an dem Stoffwechsel Anteil genommen haben, ist nicht zu sagen. Der Harn von Pferd und namentlich von Rind und Schaf ist, was uns besonders interessiert, ausserordentlich kalireich; das Alkali findet sich dabei aus soeben schon angegebenen Gründen grösstenteils an Kohlensäure oder organische Säuren gebunden. Der Schwefel wird teilweise mit dem Darmkot abgeschieden, auch soweit er schon in den Stoffwechsel eingegangen ist, was daraus erhellt, dass man die Galle ausserordentlich schwefelreich gefunden hat***), und ein normaler Gallenbestandteil, das Taurin, das nachweislich teilweise mit den Exkrementen entleert wird, ein sehr schwefel-

*) H. Rose hat übrigens die Asche der Ochsen-galle reich an Phosphorsäure gefunden. Vergl. Jahresber. f. Chemie, 1849, p. 593.

**) Siehe über die Zusammensetzung des Kälberharns Landw. Versuchsst., 1859, p. 82.

***) Der Schwefelgehalt der trockenen Galle beträgt bei den hierhergehörigen Tieren mit Ausnahme des Schweines $3\frac{1}{2}$ — $6\frac{1}{2}$ ‰; vergl. Kühne: Physiol. Chem., p. 82.

haltiger Körper ist. Zu einem andern Teile finden wir den umgesetzten Schwefel in der Form von Sulfaten und Sulfosäuren*) im Harn, in diesem Falle also auch wieder wie alle Bestandteile grossenteils denselben in sehr hochoxydierter Form.

Sowie der Harn vorzüglich die Endprodukte des Stoffwechsels (mit den eben berührten Ausnahmen), soweit sie nicht gasförmiger Natur sind, enthält, so besteht der feste Kot, wie schon angedeutet, aus den gar nicht in den Stoffwechsel eingegangenen Substanzen. Wenn man, um die oft gezogene Parallele zwischen tierischem Stoffwechsel und einem eigentlichen Verbrennungsprozess auszubeuten, den Harn mit der Asche, die ausgeatmete Luft mit den Verbrennungsgasen vergleicht, so sind die festen Exkremente ein Gegenstück zu den durch den Rost gefallenem Holz- und Kohlenstückchen, welche dem Verbrennungsprozess entgangen sind, entweder weil der Rost zu weit oder die Verbrennungstemperatur eine zu niedrige gewesen ist. Der Kot besteht nämlich, ausser jenen im Verhältnis zu seiner Masse geringen Mengen Gallensubstanzen, aus den unverdauten Bestandteilen der verabreichten Nahrung, welche der Einwirkung der Verdauungsflüssigkeiten zum Trotz nicht in eine resorbierbare Lösung übergeführt werden konnten. Bei der Verabreichung von schwerverdaulichem sog. Raufutter, wie Heu oder gar Stroh, ist der Prozentsatz an Unverdaulichem natürlich grösser als bei leichtverdaulichem sogen. Kraftfutter, wie Körner und Futterkuchen.

Man darf sich nun aber unter diesen Bestandteilen nichts ein für allemal Konstantes denken, einen gewissen Prozentsatz von Stoffen für ein jedes Futtermittel, die nun einmal nicht verdaut werden können. Das Unverdaute ist vielmehr eine ziemlich komplizierte Funktion von der Gesamtmenge der verzehrten Futterstoffe und deren relativen Zusammensetzung aus einzelnen Nährstoffen**). Auch bezüglich dieses Verhaltens wäre es unschwer, die Parallele zwischen tierischem Stoffwechsel und einer Verbrennung im Ofen weiter zu verfolgen. Es finden sich unter den in den Fäces abgehenden unverdauten Stoffen immer solche, die unter Umständen recht gut hätten verdaut werden können und selbst von derselben Tierklasse oder demselben Individuum bei einem nochmaligen Durchgang durch den Organismus verdaut werden würden, während die Bestandteile des Harns niemals wieder organische Nahrungsmittel sein können, selbst nicht für Geschöpfe von ziemlich entfernt stehender Lebensweise. Die Kenntnis dieses Verhaltens ist auch für unsere Betrachtungen von Bedeutung, da es mit Hilfe derselben gelingt, eine Vorstellung von der abweichenden Zusammensetzung der Exkremente bei verschiedener Fütterung zu gewinnen.

Nach diesen einleitenden Bemerkungen gehen wir zur Zusammensetzung der Exkremente selbst über und teilen zunächst Durchschnittszahlen, die für mittlere Umstände Geltung haben, mit.

*) Zeitschr. f. physiol. Chemie, 17, 459.

**) Vergl. z. B. die Abhandlungen von Stohmann: Landw. Versuchsst., 1869, p. 401, oder Zeitschrift für Biologie, 1870, H. 2; ferner Landw. Versuchsst., 13, p. 16 u. f.; obgleich die an den angegebenen Orten gemachten Versuche einer streng mathematischen Formulierung als gescheitert zu betrachten sind.

Pferd.

	Kot.	Harn.	Gemisch beider.
Wasser	75,8 %	90 %	77,9 %
Org. u. flüchtige Substanz	21	7	19
darin Stickstoff	0,44 %	1,5 %	0,6 %
Gesamtasche	3,2	3	3,1
darin Phosphorsäure	0,32	0	0,3
Kali	0,35	1,6	0,5

Rind.

	Kot.	Harn.	Gemisch beider.
Wasser	83,5 %	93,8 %	86,8 %
Org. u. flüchtige Substanz	14,6	3,2	11
darin Stickstoff	0,29 %	0,6 %	0,4 %
Gesamtasche	1,9	3	2,2
darin Phosphorsäure	0,17	0	0,13
Kali	0,1	1,3	0,6

Schaf.

	Kot.	Harn.	Gemisch beider.
Wasser	65,5 %	87,5 %	68 %
Org. u. flüchtige Substanz	31,4	8	28
darin Stickstoff	0,6 %	1,9 %	0,9 %
Gesamtasche	3,1	4,5	4
darin Phosphorsäure	0,3	Spur	0,4
Kali	0,15	2,3	1

Vorstehende Angaben, wobei die Zusammensetzung des Gemisches selbstverständlich unter Berücksichtigung der relativen Mengen von Festem und Flüssigem berechnet wurde, können natürlich nur ein ungefähres Bild von der Zusammensetzung der Exkremente der drei wichtigsten landwirtschaftlichen Nutztiere geben. Überall, wo eine grössere Anzahl von Untersuchungen zur Ermittlung der gegebenen Zahlen zu Gebote steht, da sieht man auch, dass die Zusammensetzung der Exkremente innerhalb ziemlich weiter Grenzen schwankt. Dies kann auch gar nicht anders sein, wenn man bedenkt, in welcher unmittelbaren Abhängigkeit die tierischen Ausscheidungen von der Ernährung stehen, wie die Fütterung mit anders zusammengesetzten Materialien oder auch die Abänderung der Menge des aufgenommenen Tränkwassers genügt, um die Zusammensetzung der Auswurfstoffe gründlich umzustimmen. Deshalb sind auch die Schwankungen in Bezug auf die Zusammensetzung der Rindvieh- und Schafexkremente viel erheblicher als die der Pferdeexkremente. Rind und Schaf werden, weil es sich bei ihrer Nutzung um sehr verschiedene Dinge handelt, je nach der Art dieser Nutzung sehr verschieden gefüttert. Die Nahrung ist für Milchvieh, Mastvieh, Zugvieh und ebenso für Fleisch- und Wollschafe, für diese Tiere im extensiven oder intensiven Betriebe, häufig eine grundverschiedene, während die Pferde, von China abgesehen, ausschliesslich Arbeitstiere sind und demgemäss auch weit gleichartiger gefüttert werden.

Abgesehen von diesen Schwankungen in der Zusammensetzung der Exkremente, welche für die verschiedenen Tiere verschiedene Werte erreichen, sind indessen deutliche Zusammensetzungsunterschiede je nach der Tierart, von welcher sie stammen, zu bemerken, welche als durch die Untersuchungen sicher festgestellt zu betrachten sind und eine gewisse praktische Bedeutung für die Verwendung der einzelnen Mistarten besitzen. Es versteht sich von selbst, dass diese Unterschiede der Hauptsache nach auch auf verschiedene Fütterungen zurückgeführt werden müssen, welche die landwirtschaftliche Praxis, anschliessend an das Bedürfnis und die Ausnutzungsfähigkeit der verschiedenen Tierklassen, gewählt hat, sowie namentlich auf den verschiedenen Wassergenuss dieser letzteren; denn es kann ja nicht zweifelhaft sein, dass ganz beliebige Tierarten, wenn es überhaupt gelingt, sie mit der prozentisch gleichen Fütterung und Tränkung auf dem ungefähren Stoffgleichgewicht zu erhalten, mit Ausnahme geringer Differenzen im Gehalt an Wasser und organischer Substanz (die von der etwas verschiedenen Atmung herrühren können) gleich zusammengesetzte Exkremente liefern müssten, wenn auch natürlich die Verteilung der einzelnen Stoffe auf Kot und Harn, die chemische Form der näheren Bestandteile etc. eine ungleiche sein könnte. Da aber auch die Elementarzusammensetzung der Gesamtausleerungen der verschiedenen landwirtschaftlichen Nutztiere einander ungleich ist, so ist dies im wesentlichen der verschiedenartigen Zusammensetzung der verabreichten Futterstoffe der einzelnen Tierarten zuzuschreiben, welche Verschiedenartigkeit aber natürlich in der verschiedenen Natur der Tiere begründet ist. Bei den Schafen speziell rührt die Konzentration der Exkremente wesentlich von dem sparsamen Wassergenuss dieser Tiere her.

Im ganzen können wir nun die verschiedenen Exkremente in ihrer Zusammensetzung folgendermaassen charakterisieren: Der Schafkot ist von allen der wasserärmste, dann folgt der Pferdekot; der Rindviehkot enthält die verhältnismässig grösste Wassermenge. Genau in demselben Verhältnis steht die Zusammensetzung des Harns der drei Tierklassen und also auch die der Gesamtausleerungen. Dass der Pferdemist von allen Mistarten am besten zur Selbsterwärmung übergeht, da wo er in grösseren Mengen zusammengehäuft ist — eine Eigenschaft, auf welcher dessen Verwendung zur Mistbeetgärtnerei beruht —, ist also ausser auf seine Konzentration noch auf spezifische andere Eigenschaften zurückzuführen. Jedenfalls spielt dabei ausser dem Umstande, dass das Pferd mit mehr Kraftfutter ernährt wird, die grosse Porosität der Ausleerungen, welche mit dem Umstande im Zusammenhang stehen mag, dass die Pferde als nicht wiederkauende Tiere in der mechanischen Zerkleinerung des Futters hinter Rind und Schaf zurückstehen, eine grosse Rolle.

Auch die gemischten Exkremente des Schafes sind also die konzentriertesten und enthalten dem entsprechend mehr organische Substanz, mehr Stickstoff, mehr Asche, mehr Phosphorsäure, während die Pferdeexkremente in allen diesen Stücken ungefähr zwischen denen des Schafes und denen des Rindes in der Mitte stehen, welche Gemische sich übrigens in ihrer Zusammensetzung mehr anlehnen an die der festen Ausscheidungen, welche bei den Pflanzenfressern über die flüssigen vorzuherrschen pflegen. Nicht alle feineren Unterschiede, namentlich wenn man Harn und Kot gesondert betrachtet, lassen sich aber auf den verschiedenen Gehalt von Wasser zurück-

führen. So geht das Kali bei Schaf und Rind in noch grösserem Verhältnis in den Harn über als beim Pferd, und der Rinderharn ist überhaupt relativ sehr reich an Aschenbestandteilen, reicher als der Rinderkot, ein Verhältnis, das jedenfalls mit der Intensität des Verdauungsprozesses im Zusammenhang steht und daher beim Pferde nicht angetroffen wird. Diese Unterschiede, die uns indessen an dieser Stelle nicht weiter interessieren, werden daher nur teilweise auf die gebräuchliche Ernährung durch verschiedene Futtermittel gesetzt werden können.

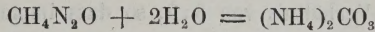
In betreff der mechanischen Eigentümlichkeiten der Auswurfstoffe der verschiedenen landwirtschaftlichen Tierarten ist dann noch besonders auf die schleimigen Eigenschaften des Rinderkotes aufmerksam zu machen, welche im Gegensatze stehen zu der schon erwähnten Porosität des Pferdekotes. Infolge hiervon wird die Luft durch eine rasch sich bildende Kruste abgeschlossen und der Rindermist bleibt dadurch lange unzersetzt. Aus diesem Grunde hat er mehr wie andere Mistarten die Beimischung von porösen organischen Stoffen nötig, welche wir nachher unter dem Namen von Streu kennen lernen werden.

Dann muss weiter die allgemeine Bemerkung gemacht werden, welche alle Arten von tierischen Auswurfstoffen ungefähr in gleicher Weise betrifft, dass der Urin in allen Fällen prozentisch viel reicher ist an den eigentlichen pflanzenernährenden Stoffen mit Ausnahme der Phosphorsäure als die festen Exkremeute, wozu dann noch kommt die mehr aufnehmbare Form dieser Stoffe in den flüssigen Ausleerungen, die sogleich für den Stickstoff noch näher ausgeführt werden soll. Aus dieser Thatsache ergeben sich sehr schwerwiegende Folgerungen für den hohen Düngerwert der Jauche und die grosse Schädigung desjenigen Stallmistes, aus dem dieselbe durch Nachlässigkeit oder absichtlich beseitigt wurde. Es ist dabei freilich nicht ausser acht zu lassen, dass, wie schon gesagt, unsere pflanzenfressenden Haustiere im Gegensatz zu Fleischfresser und Mensch mehr Kot als Harn produzieren, so dass der erstere seiner grossen Menge wegen für die Konstitution des Gemisches doch sehr in Betracht kommt. Ausserdem ist derselbe natürlich entscheidend für die physikalische Wirkung im Boden, da die organischen Stoffe in demselben auch prozentisch sehr viel reichlicher vertreten sind.

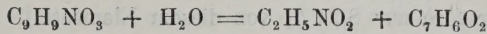
Was die nähere chemische Zusammensetzung der Auswurfstoffe betrifft, so liegt auch in dieser Richtung eine Reihe von Untersuchungen vor, deren Resultate insofern von Bedeutung sind, als sie uns namentlich Aufschluss verschaffen über die chemische Form, in welcher sich der Stickstoff des Harns befindet. Während im menschlichen Harn beinahe der gesamte Stickstoffgehalt in der Form von *Harnstoff* vorhanden ist und nur sehr geringe Mengen von Harnsäure und anderen stickstoffhaltigen Verbindungen daneben angetroffen werden, und sich der Hundeharn ganz ähnlich verhält, so dass beispielsweise in diesen Flüssigkeiten der ganze Stickstoffgehalt annähernd genau durch Titrieren des Harnstoffs ermittelt werden kann, spielt in dem Harn der Haussäugetiere neben jenem ein anderes stickstoffhaltiges Endprodukt des Stoffwechsels eine bedeutende Rolle, die *Hippursäure**). Dieselbe ist

*) So genannt, weil sie von Liebig zuerst im Pferdeharn entdeckt wurde. — Über die Entstehungsbedingungen dieses Stoffes im Harn der Pflanzenfresser vergl. die ältere Litteratur in Kühne: *Physiol. Chem.*, 1868, p. 500—503, u. später *Journ. f. Landw.*, 1870, Jahresber., p. 180; Stutzer: *Landw. Versuchsst.*, B. 18, p. 364.

weit kohlenstoffreicher wie der Harnstoff, sie hat die Formel $C_9H_9NO_3$, letzterer die Formel CH_4N_2O . Während dieser sich nach dem Verlassen des tierischen Körpers, zuweilen auch schon in demselben, unter Wasseraufnahme in kohlen-saures Ammoniak verwandelt, spaltet die Hippursäure unter den gleichen Umständen gleichfalls unter Wasseraufnahme eine sehr kohlenstoffreiche Verbindung, die Benzoësäure, ab, während ihr Stickstoffgehalt in einem andern Spaltungsprodukt, dem Glycocol, verbleibt, woraus zugleich die Konstitution der Hippursäure einigermaßen erhellt. Die beiden Reaktionen verlaufen also, in Formeln ausgedrückt, in folgender Weise:



Harnstoff. Wasser. Kohlensaures Ammoniak.



Hippursäure. Wasser. Glycocol. Benzoësäure.

Ohne Zweifel erleidet dann das Glycocol, das seiner Konstitution nach als Amidoessigsäure (als Essigsäure, in der ein Atom Wasserstoff durch die Amidogruppe NH_2 ersetzt ist) betrachtet wird, weitere Zersetzungen, bei denen schliesslich auch Ammoniaksalze resultieren.

Im tierischen Körper entsteht vermutlich die Hippursäure auf umgekehrte Weise, d. h. aus Glycocol (welches als intermediäres Stoffwechselprodukt im Tierkörper vielfach vorkommt), da sie im Harn besonders leicht nach Genuss von Benzoësäure oder von Substanzen, welche diese Säure liefern können, auftritt.

In sich selbst überlassenem Mist von Tieren, gleichgültig ob deren Harn ausser Harnstoff auch noch Hippursäure enthält, werden wir daher wesentlich nicht diese Stoffe, sondern Ammoniak als Träger des Stickstoffs zu erwarten haben.

Die betreffenden Umsetzungen erfolgen im Mist und in der Jauche sehr rasch*). Wir wissen aber, dass auch, wenn diese Zersetzungen nicht rasch genug oder nicht vollständig erfolgen sollten, die genannten stickstoffhaltigen Stoffe zur Not auch als direkte Pflanzennahrung dienen können; wenigstens ist dies Verhalten für Harnstoff, Hippursäure und Glycocol mit ziemlicher Sicherheit nachgewiesen**).

Die *Harnsäure* endlich, welche in dem Harne des Menschen und der Fleischfresser in nicht ganz unerheblichen Mengen vorkommt, bei Vögeln und bei vielen Reptilien das beinahe ausschliessliche Endprodukt des Umsatzes von Proteinsubstanzen ist, kommt im Harne der pflanzenfressenden Haustiere nicht in beachtenswerter Menge vor, obschon sie hier und da qualitativ in demselben nachgewiesen werden konnte***).

Um einen Anhaltspunkt über die Quantität des Vorkommens der Hippursäure neben dem Harnstoff in dem Harne der Haussäugetiere zu gewinnen, mögen folgende Angaben dienen: Boussingault†) fand im Pferdeharn 3,1% Harnstoff und nur

*) Vergl. hierüber die ausführlichen Versuche v. Heiden: Ber. Pommritz, 1883. In der Erde geschieht diese Umsetzung an sich etwas langsamer, zumal in den unteren Schichten. Vergl. O. Kellner: Landw. Jahrb., 1886.

**) Vergl. Lehrbuch der Agrikulturchemie I, die 12. Vorlesung, p. 176.

***) Vergl. Kühne: Physiol. Chem., p. 486.

†) Vergl. über diese und einige folgende Angaben Heiden: Düngerlehre, B. II, p. 31, 37, 44, 45.

0,47 % hippursäures Kali, so dass in diesem Falle die Stickstoffmenge, welche in Form von Hippursäure (bei dem geringen Stickstoffgehalt dieses Körpers) vorhanden war, geradezu gegen den Stickstoff in Gestalt von Harnstoff verschwindet. Etwas anders gestaltet sich indessen das Verhältnis im Rindviehharn. Im Mittel von 8 Versuchen fanden Henneberg und Stohmann im Kuhharn 0,85 % Hippursäure auf 1,1 % Harnstoff, und Boussingault fand ein ganz ähnliches Verhältnis. Im Harne der Schafe scheint sogar die Hippursäure in der Regel, wenigstens nach Ernährung mit Gramineen (Heu und Stroh) den Gehalt an Harnstoff absolut zu übersteigen. Henneberg fand*) ein Verhältnis von 3:2, so dass immerhin ein Fünftel des Gesamtstickstoffs in der Hippursäure enthalten war. (Der Harnstoff enthält nämlich 46,67 %, die Hippursäure nur 8,24 % von diesem Elemente.)

Die Exkremente des *Schweins*, die zumal für den kleineren Landwirt eine gewisse Bedeutung als Düngemittel besitzen, sind nicht mit jenen andern besprochen und für eine besondere kurze Behandlung aufgespart worden, weil sie, ganz entsprechend der üblichen Ernährung dieser Tierklasse, je nach dieser Ernährung eine äusserst verschiedene Zusammensetzung besitzen. Die Schweine werden nun einmal in der Regel — wir haben nicht zu untersuchen, ob zweckmässiger- oder unzweckmässigerweise — mit allen möglichen Abfällen ernährt; kein Wunder, dass auch die Auswurfstoffe dieser Tiere eine sehr variierende Beschaffenheit und — einen sehr verschiedenen Wert besitzen. Daher stammt denn auch die weit auseinandergehende Beurteilung des Schweinemistes bei einzelnen Landwirten. Während ein landwirtschaftlicher Schriftsteller des alten Roms geradezu ausspricht, der Schweinemist taue nichts (woraus gleichzeitig ein Rückschluss auf die Art der Schweinefütterung bei den Römern möglich ist), sehen wir ihn andererseits bisweilen, natürlich besonders in den Fällen intensiver Fütterung, ziemlich hoch geschätzt.

Die Zahlen, die in Bezug auf die Zusammensetzung der Schweineexkremente nach der verhältnismässig geringen Zahl der bis jetzt angestellten Analysen mitgeteilt werden können, bezeichnen voraussichtlich bei weitem nicht die weitesten Grenzen, die mit Sicherheit angenommen werden dürfen.

Es wurden gefunden:

	Kot.	Harn.	Gemisch beider.
Wasser	79—84 %	97,5 %	82—87 %
Organ. Substanz	10—15	1,5—2,8	9—14
Stickstoff	0,6—0,7 %	0,3—0,4 %	0,5—0,6 %
Asche	3—5	1,0—1,5	3—4
Phosphorsäure	0,1—0,4	0,1	0,1—0,2
Kali	0,3	0,7—0,8	0,5.

Immerhin lässt sich aus diesen Angaben ersehen, dass die Ausleerungen des Schweines meist ziemlich verdünnter Natur sind und hinsichtlich des Wassergehalts nur bisweilen von denen des Rindviehs übertroffen werden. Besonders auffallend erscheint für den Schweineharn dessen sehr geringer Substanzgehalt, der noch weit hinter dem des Rindes zurücksteht. Daraus kann man schliessen, dass z. B. der nicht ganz

*) Vergl. Journ. f. Landw., 1870, p. 200.

geringe Stickstoffgehalt der Gesamtausleerungen des Schweines doch nicht viel für die Düngbefähigung dieser Stoffe zu bedeuten hat, da die Hauptmenge desselben sich auf die unverdauten stickstoffhaltigen Bestandteile des Kots zurückführen lässt, denen nur eine geringere Bedeutung als Pflanzennährmittel zukommt, da sie auch im Boden sich als schwer zersetzbar erweisen werden. Man vergleiche damit das Stickstoffverhältnis in Harn und Kot für die drei anderen landwirtschaftlichen Nutztiere. — Etwas Ähnliches lässt sich auch wahrscheinlich für einzelne Aschenbestandteile aussagen. Doch gelten, wie schon angedeutet, diese Regeln mehr für die Ausscheidungen des Schweines bei der gewöhnlichen wässerigen Fütterung mit Abfällen aller Art.

Hippursäure scheint der Schweineharn nicht zu enthalten, sondern beinahe allen Stickstoff in Form von Harnstoff; dagegen enthält derselbe namentlich nach gewisser Fütterung (mit Kleie) erhebliche Mengen von Phosphorsäure, er reagiert daher häufig sauer, in seltenen Fällen ganz schwach alkalisch zum Unterschied von dem Harn jener anderen Säugetiere, der stets alkalisch reagiert und mit Säuren braust.

Weiter hätten wir dann noch der *Auswurfstoffe des Federviehs* Erwähnung zu thun, die bekanntlich für die Landwirtschaft nicht ohne Bedeutung sind. Besonders bei den alten *Römern* standen der Taubendung und die Exkremente anderer Vögel, welche auf den Landgütern ganz regelmässig und, wie es scheint, z. T. eigens der Düngerproduktion wegen gehalten wurden, in hohem Ansehen*). Obgleich nun derartige Düngstoffe in unserer heutigen Landwirtschaft wegen der geringen Ausdehnung der Geflügelzucht keine hervorragende Rolle mehr spielen, so ist es doch der Vergleichung wegen interessant, einiges wenige von der Zusammensetzung dieser Stoffe kennen zu lernen, um so mehr, als wir bald einen als Fossil sich ablagernden Vogeldung kennen lernen werden, der für unsere modernen Verhältnisse von der allergrössten Bedeutung war und z. T. noch ist.

Im Mittel mehrerer Analysen wurde gefunden**):

	Taubenkot.	Hühnerkot. Analyse Wageningen.	Gänsekot.
Wasser	62 %	59,7 %	82 %
Organ. Substanz	31—32	29,4	14
Stickstoff	1,2—2,4 %	0,8—1,4 %	0,6 %
Asche	6—7	8,4	4
Phosphorsäure	2	0,5	0,4
Kali	1—2	0,6	0,4.

Der natürliche oder durch Verunreinigungen in die Exkremente gelangte Sandgehalt wurde als zufälliger Gemengteil durch Berechnung eliminiert.

*) Siehe darüber die geschichtlichen Angaben Heiden's (dessen Düngerl., II, p. 243) und namentlich Hlubek: Beleuchtung d. org. Chem. etc., 1842, p. 59.

**) Vergl. Heiden: ebenda, p. 278—279, u. Landw. Versuchsst., XV, p. 3. Die Zahlen wurden (unter Vernachlässigung einiger unwahrscheinlicher Angaben) in ähnlicher Weise wie die früher mitgeteilten umgerechnet. Siehe auch die Analyse von Taubenmist, Journ. f. Landw., 1864, p. 377, und von Hühnermist: Maandbl. v. d. Nederl. Landb., 1880, p. 58.

Diese Angaben, so unvollständig sie immerhin sein mögen, erlauben doch ein ungefähres Urteil über die Konzentration und den Düngerwert der einzelnen Vogelkotarten.

Der *Taubenkot* steht durch seinen ungewöhnlichen Reichtum an Stickstoff, welchen letzteren wir dazu grossenteils in einer leicht zugänglichen Form, als Harnsäure, vorhanden denken müssen, über allen bisher betrachteten Auswurfstoffen. Die Gesamtausleerungen des Schafes, das sonst die stickstoffreichsten Exkremente liefert, sind weit ärmer an diesem Bestandteil. Der *Hühnerkot* steht in dieser Hinsicht dem Taubenkot nahe, während *Gänsekot* und jedenfalls auch der von Enten stickstoffärmer ist und hierdurch allein schon die Meinung der Alten rechtfertigt, welche diese letzteren Auswurfstoffe trotz ihrer sonstigen Hochschätzung des Vogeldungs verwarfen*). Dieser auffallende Unterschied wird uns leicht verständlich, wenn wir die Ernährung unserer Hausgeflügelarten erwägen. Die Tauben ernähren sich mit Vorliebe von Körnern und namentlich von den stickstoffreichen Körnern der Leguminosen (Wicken), Gänse fressen wie die Enten besonders krautartige Pflanzenteile und gelegentlich grüne Wasserpflanzen (Lemna), während die Hühner in ihrer Ernährung mehr in der Mitte stehen.

Über den Gehalt jener einzelnen Auswurfstoffe an Aschenbestandteilen wollen wir wegen unzulänglicher Angaben in dieser Richtung keine voreiligen Reflexionen anstellen. Auf die augenfällige Übereinstimmung des Gänsekots mit den Gesamtausleerungen des Schweins wäre einstweilen hinzudeuten, wenn auch bei der Variation der Zusammensetzung beider Stoffe einem solchen Hinweis nur ein beschränkter Wert beigelegt werden darf.

Nachdem wir uns so über die Zusammenstellung der Exkremente unserer Haustiere im allgemeinen orientiert haben, werden wir nun das andere Element, welches mit jenem zusammen den Stallmist bildet, etwas näher ins Auge zu fassen haben. Es ist bekanntlich eine in der Landwirtschaft aller Völker sehr verbreitete Sitte, die Exkremente nicht für sich aufzusammeln und zu verwenden, sondern hierzu eigenartige poröse Materialien zu benutzen, welche mit dem Namen *Streu* oder *Einstreu* belegt werden. Nur in Gegenden mit ausschliesslicher Weidewirtschaft, wo man bei Mangel an Stroh aus nabeliegenden Gründen mehr Bedürfnis hat an flüssigem Dünger als an voluminösem Stallmist, der nur da, wo er untergepflügt werden kann, erwünscht ist, also z. B. in den niederländischen Provinzen Nord- und Süd-Holland, wird die Einstreu auf ein Minimum beschränkt und das flüssige Gemisch der Auswurfstoffe nach einer Jauchengrube (holl. Gierkelder) abgeleitet, wodurch die in jenen Gegenden herrschenden eigentümlichen Stalleinrichtungen z. T. mit bestimmt werden. In anderen Weidegegenden, z. B. manchen Gebieten der Schweiz und in anderen Gegenden von Holland, hilft man sich auf andere Weise dadurch, die Streu nach der Auslaugung des Düngers auf der Weide wieder zusammenzurechen und sie abermals zu benutzen. Das sind aber doch Ausnahmen. Im allgemeinen entsteht Stalldünger aus den Auswurfstoffen plus der Streu. Selbstverständlich ist nun der aus beiden Elementen hervorgehende Stallmist in seiner Zusammensetzung und seinen düngenden Eigenschaften nicht bloss abhängig

*) Vergl. Heiden: a. a. O., p. 244.

von der Beschaffenheit der Exkremente, sondern ebenso von der Beschaffenheit dieser Einstreu, welche letztere deshalb eine gewisse Beachtung verdient.

Die Bedeutung der Einstreu ist eigentlich eine doppelte. In erster Linie wurde sie vermutlich gegeben, um den Stalltieren ein warmes, trocknes und zugleich reinliches Lager zu geben. Dann ergab sich aber bald, dass auf diese Weise mehr und besserer Dünger bereitet werden konnte. Bei Pferden, zumal in Kasernen und Ställen, mag der erste Gesichtspunkt zuweilen der allein maassgebende gewesen sein. Allgemein und speziell in der Landwirtschaft ist er es sicherlich nicht, wie am besten die Stalleinrichtungen der beiden Provinzen Holland beweisen, bei welchen vollkommene Reinlichkeit auch ohne Streu auf die Weise bewerkstelligt wird, dass der Stand der Kühe kurz ist und so die Exkremente beinahe von selbst in die hinter dem Stande verlaufende Gosse gelangen. Jedenfalls ist es für uns nur von Gewicht, den zweiten Gesichtspunkt ins Auge zu fassen, der aber selber wieder von verschiedenen Seiten beleuchtet werden muss.

Zunächst ist einiges zu sagen von der Bedeutung der Einstreu in Bezug auf die Konservierung der Exkremente. Wir werden daraus ersehen, dass der Nutzen der Streu für die Wirkung des resultierenden Düngers nicht etwa allein in ihrer eigenen Düngbefähigung liegt. — So hätten wir denn über die Zersetzungsfähigkeit der Exkremente und deren Einfluss auf den Düngerwert zu reden.

Die tierischen Auswurfstoffe haben wie die meisten organischen Substanzen, wenn sie mit Wasser imprägniert sind, die Fähigkeit, eine Reihe von Zersetzungen durchzumachen, die teilweise als Oxydationserscheinungen, teilweise als innere Umagerungen und neue Gruppierungen der Stoffelemente zu bezeichnen sind, alle aber unter Verlust von chemischen Spannkraften und unter Freiwerden von Wärme verlaufen. — Von diesen chemischen Vorgängen sind für unsere Betrachtung vornehmlich zwei von Belang: die Oxydationserscheinungen, durch welche organische Substanz zerstört wird, und jene Umsetzungen stickstoffhaltiger organischer Substanzen, durch welche flüchtiges Ammoniak entsteht. Durch den ersten Vorgang wird die organische Substanz des resultierenden Düngers und somit dessen Fähigkeit, in der Ackererde Kohlensäure zu entwickeln, sowie eine Reihe von wichtigen physikalischen Funktionen auszuüben, vermindert. Durch den andern wird Gelegenheit gegeben zu Verlusten an kostbarem Stickstoff. Daraus ist nun deutlich ersichtlich, dass, wenn auch, wie wir später sehen werden, gewisse Zersetzungserscheinungen im Miste geradezu als qualitätsverbessernd erscheinen und darum absichtlich begünstigt werden, jene Vorgänge doch einen Verlauf nehmen *können*, der schädlich ist und der in diesem Falle darum so gut als möglich vermieden werden muss.

Man kann nun sagen, dass eine jede zu rasch verlaufende, zu energische Zersetzung des Mistes mit Bildung von viel Ammoniak in flüchtigem Zustande verbunden ist, daher auch der rasch sich zersetzende Pferdemist so leicht zur Entwicklung der scharfen Ammoniakluft Veranlassung giebt, und dass eine derartige Zersetzung durch Beimischung anderer nicht in dem Grad zersetzbaren Stoffe, die eine Verdünnung dieser bewirken, gemässigt wird. Dabei spielt jedenfalls die Temperatursteigerung durch den Zersetzungsprozess, welche das weitere Fortschreiten desselben begünstigt, durch Zumischen anderer Stoffe aber herabgedrückt wird, eine Rolle.

Eine weitere Bedeutung derselben beruht dann augenscheinlich auf ihrer Befähigung, flüssige Stoffe aufzusaugen, breigen eine gewisse Konsistenz zu geben und so die Aufsammlung derartig beschaffener Exkremeute sehr zu erleichtern. — In letzter Linie ist dann auch auf den eigenen Gehalt der Einstreumaterialien an düngenden Stoffen, welche z. T. erst durch die Vermischung mit jenen leicht zersetzbaren aufgeschlossen und nutzbar gemacht werden, und ebenso auf die physikalische Düngerwirkung jener Substanzen hinzudeuten. Alle diese verschiedenen Eigenschaften beeinflussen natürlich den Düngerwert der aus Exkrementen und Streu hervorgehenden Stallmistsorten.

Das bekannteste und weitverbreitetste Streumaterial ist das *Stroh*, die Stengel und Blattteile unserer Getreidearten und einiger anderen unserer Kulturgewächse. Schon der etymologische Ursprung des Wortes „Stroh“ deutet dieses Verhältnis an. Das Getreidestroh, in sehr grossen Mengen alljährlich produziert, hat nur eine beschränkte technische Verwendung, ist als menschliches Nahrungsmittel wertlos und kann auch als Futterstoff meistens nicht in dem Maassstab Verwendung finden, als nach den gewöhnlichen Betriebsmethoden davon zur Verfügung steht. Somit erscheint die übliche Verwendung des Strohes als Streumaterial durchaus begreiflich. Das Gesagte schliesst darum nicht aus, dass es Kulturperioden und Betriebsmethoden giebt, für die eine Verwendung ganz anderer Materialien als Einstreu am Platze erscheint — und es wird leicht sein, die Umstände zu bestimmen, unter denen etwas Derartiges eintreten wird. Dasselbe spricht nur aus, dass derartige Verhältnisse selten sind.

Es ist weiter leicht einzusehen, dass das Stroh ausser der wirtschaftlichen auch die physikalische Befähigung als Streumaterial besitzt. Als blosses Verdünnungsmittel, und um einen zu energischen Zersetzungsprozess der Auswurfstoffe zu verhüten, könnte freilich ein jeder fein verteilte Körper dienen; allein das Stroh zeichnet sich infolge seiner eigentümlichen Struktur, namentlich der Stengelhöhlungen, durch eine erhebliche, wasserfassende Kraft aus, so dass es grosse Mengen von flüssigen Ausleerungen in sich aufsaugen kann, diese in sich aufammelt und zugleich den Tieren ein trockenes Lager bereitet. Weiter besitzt das Stroh, da es selbst Teil einer Pflanze gewesen ist, einen gewissen Düngerwert, den wir nachher näher zu erörtern haben werden.

Neben dem Getreidestroh spielt das Stroh, von anderen Kulturpflanzen z. B. Raps, seltener das von Erbsen und Bohnen, welches seines hohen Eiweissgehaltes wegen noch als Futterstoff Bedeutung hat, gelegentlich auch eine Rolle als Einstreu; in ausgedehnterem Maassstabe sehen wir aber auch Materialien ganz anderen, wenn auch pflanzlichen Ursprungs, die sogenannte *Waldstreu*, zu dem gleichen Zwecke in Anwendung kommen. Die Waldstreu besteht aus Produkten oder Abfällen der Forstwirtschaft und kann unterschieden werden in Laub- und Nadelstreu. Die erstere besteht aus den im Herbst fallenden Baumblättern, welche vielfach nach bestehenden Gerechtsamen oder schwer auszurottenden Gepflogenheiten von den Landleuten auch im Walde fremder Eigentümer oder der Domänen gesammelt und daraus fortgenommen werden dürfen; die letztere aus den mit Nadeln besetzten Zweigen des gefällten Nadelholzes, welche jedoch der Natur der Sache nach nur in beschränktem

Maassstab Verwendung finden können, oder aus den abgefallenen Nadeln. Ausserdem wird auch noch häufig sogenannte Moosstreu, bestehend aus der niedrigen Vegetation des Hochwaldes, Farren, Moosen und dergl., zum gleichen Zwecke benutzt.

In dasselbe Kapitel mit der Waldstreu gehört dann auch die Streu, welche die Heide gewährt, die *Plagge*, obschon diese, da sie wie ein Stück Rasen vom Boden weggehackt oder geschaufelt wird, zu einem wenigstens ebensogrossen Teile aus Erde resp. Sand besteht als aus Pflanzenmasse; aber die letztere ist doch der mehr charakteristische Bestandteil.

Neben diesen und anderen Abfällen pflanzlicher Natur finden dann auch, namentlich wo es an diesen fehlt, *rein erdartige Mineralien*, Torf oder Erde selber, als Einstreu Verwendung. Diese können natürlich in Bezug der Aufsaugung der flüssigen Auswurfstoffe auf Mässigung der Zersetzungserscheinungen dasselbe leisten wie jene vegetabilischen Substanzen; ein Gleiches kann jedoch nicht gesagt werden hinsichtlich des eigenen Düngerwerts dieser Streumaterialien und auch vielleicht nicht hinsichtlich der Reinlichkeit des Standes der Tiere, obwohl man bei Pferden mit der Torfstreu in der letzten Zeit sehr günstige Erfahrungen gemacht hat. Bei Benutzung von Erde kann natürlich nichts Allgemeines von dem Düngerwert derselben ausgesagt werden, immerhin wird dieser im Vergleich mit dem jener vegetabilischen Stoffe ein verhältnismässig geringer sein. Über die Torfstreu kann schon eher ein Urteil von einiger Gemeingültigkeit ausgesprochen werden.

Unsere Aufgabe wird zunächst darin bestehen, die Zusammensetzung jener vegetabilischen Materialien, die gewöhnlich zur Einstreu benutzt werden, und deren Menge, in welcher sie dem Stallmiste einverleibt zu werden pflegen, einer Betrachtung zu unterwerfen, daneben aber auch einen Blick auf die physikalische Beschaffenheit der einzelnen Streumaterialien zu werfen.

	Getreidestroh.	Leguminosenstroh.	Laubstreu.	Plaggen*).
Wasser	12—21 %	12—22 %	13—15 %	5—8 %
Org. Substanz	75—83	76—83	78—81	20—25
Stickstoff	0,3—0,9 %	1,2—2,0 %	0,8—1,4 %	0,3—0,6 %
Asche	3—8	3—9	4—6	70—76
Phosphorsäure	0,2—0,3	0,3—0,4	0,2—0,3	0,1
Kali	0,5—1,1	0,6—1,8	0,2—0,4	0,1.

In Bezug auf die Zusammensetzung dieser Streuarten und auf die Veränderungen, welche der Mist durch die Einverleibung derselben erleidet, kann also gesagt werden, dass durch diese Stoffe der Gehalt eines Düngers an Trockensubstanz sowie speziell an organischen Substanzen ausserordentlich erhöht werden muss, dass ebenso der Stickstoffgehalt des Rindviehmistes durch Einverleibung selbst des stickstoffarmen Getreidestrohes eher vermehrt als vermindert wird. Sogar die stickstoffreichen Aus-

*) Nach an der Versuchsstation zu Wageningen ausgeführten Analysen. Noch lebende Pflanzenteile sind natürlich nährstoffreicher als abgestorbene und desto reicher, je reicher der Boden, auf dem sie gewachsen. So erreichen Rohrschilf und Riedgräser auf Kleyboden häufig den Stickstoffgehalt des Leguminosenstrohs.

leerungen des Schafes sind im natürlichen wasserhaltigen Zustande kaum reicher an diesem wichtigen Düngestoff als manche Getreidestroharten und weit ärmer als das nährstoffreiche Stroh der Leguminosen.

Allein wir haben die Zugänglichkeit, die chemische Form dieses Nährstoffs in Betracht zu ziehen und zu bedenken, dass der Stickstoff der Exkremente, namentlich des beigemischten Harns grossenteils in Gestalt jener leicht zersetzbaren Stoffwechselprodukte, die wir als unmittelbare Pflanzennahrung betrachten können, vorhanden ist, der Stickstoff verholzter Pflanzenteile in jener unzugänglichen Form, in der er häufig auch nach weit vorgeschrittenem Verwesungsprozesse nicht für die Vegetation verfügbar wird, sondern sich in der Ackererde in den sogenannten humosen Stoffen anhäuft*).

In betreff der wertvollen Aschenbestandteile ist darauf hinzudeuten, dass der Mist durch Einverleibung der strohartigen Streumaterialien auch an diesen Stoffen absolut (wenn auch manchmal nicht relativ) reicher wird, dass aber auch in diesem Falle die Aschenbestandteile der Exkremente unmittelbar einen grösseren Wirkungswert besitzen müssen, weil sie grossenteils schon ohne tiefer eingreifende Verwesungsprozesse dem Pflanzenwachstum zur Verfügung stehen. Es ist unnötig, diese Dinge, die nach den früher gemachten Ausführungen ganz selbstverständlich erscheinen, weiter auszuführen.

Die Nützlichkeit einer grossen Menge, wenn auch langsam verwesender organischen Substanzen im Boden bedarf nach der früheren ausführlichen Darstellung dieses Gegenstandes keines weiteren Hinweises; sie beruht aber bei der Einstreu auch wesentlich auf der rein mechanischen Beschaffenheit derselben, welche dem Boden allerlei für das Pflanzenleben nützliche Eigenschaften, z. B. den schweren Böden Lockerheit, den leichten Bindigkeit mitteilt. Nur Böden von der äussersten lockeren Beschaffenheit wie neukultivierten abgegrabenen Moorböden ist die Beimengung solcher losen Bestandteile im Dünger schädlich.

Was dann die erdartigen Streumaterialien angeht, so können wir wenigstens von der jahrzehntelang durch die Agrikulturchemiker empfohlenen, erst neuerdings aber mehr in Aufnahme gekommenen Torfstreu Angaben über mittlere Zusammensetzung machen. Torfstreu wird gegenwärtig in einigen Mooren Norddeutschlands und Hollands fabrikmässig aus den Abfällen der Torfgräbereien dargestellt. Es dient dazu namentlich der in den Hochmooren obenaufliegende lose als Brennmaterial nicht zu benutzende Moostorf (Bonkaarde holl.). Eine Analyse**) des Materials an der Versuchsstation zu Wageningen ergab:

Wasser	20 %
Organ. Substanz	78,9
Stickstoff darin	0,8 %
Asche	2,1
Phosphorsäure	0,04
Kali	0,04.

*) Vergl. die 5. Vorlesung des I. Abschnitts Bodenkunde, p. 72.

**) Viele Analysen bei Fleischer: Die Torfstreu, 1890, p. 22.

Also gegenüber den pflanzlichen Abfällen, die als Streumaterial dienen, ist die Armut an nährenden Aschenbestandteilen charakteristisch. Der Reichtum der Torfstreu an Stickstoff erscheint in Anbetracht desjenigen, was wir früher über den Wert des Stickstoffs der Humusstoffe gesagt haben, zunächst auch nicht von grosser Bedeutung. Mehr hervorstechend sind die Eigenschaften der Torfstreu in anderer Hinsicht.

Es bleibt uns nämlich noch übrig, die verschiedenen zur Einstreu benutzten Substanzen hinsichtlich ihrer sonstigen Fähigkeit, auf die Beschaffenheit des mit ihrer Hilfe bereiteten Mistes einzuwirken, zu untersuchen. In erster Linie kommt dabei die Wasserkapazität der verwendeten Materialien in Betracht; denn diese ist es offenbar, welche den gelassenen Harn am Abfließen verhindert und aus den verschiedenen Auswurfstoffen ein Ganzes macht.

Es liegen einige, wenn auch kaum miteinander vergleichbare Untersuchungen über die Wasserkapazität der verschiedenen Einstreumaterialien vor. Heiden hat für Stroharten solche angestellt, indem er kleine Bunde von Stroh ein oder zwei Tage unter Wasser legte, herausnahm und nach verschiedenen Perioden des Liegens an der Luft wog. Das von den einzelnen Stroharten zurückgehaltene Wasser war ziemlich gleich. Es liegen ferner für die Waldstreu, abgefallenes Laub und Nadeln, sowie Nadelholzreisig einige Beobachtungen in derselben Richtung vor*), und die Zahlen, die für die wasserhaltende Kraft dieser Streumaterialien gefunden worden sind, lauten z. T. erheblich günstiger als die für Stroh ermittelten.

Praktisch gilt dies indessen nur für das als Streu verwendete Laub, da ja Nadelstreu der Natur der Dinge nach in der Regel nur als minder taugliches Reisig verwendet wird. Erde ist nur nach dem Raume gemessen dem Stroh ein wenig überlegen, während das Gewicht von beizuführender Erde unter den günstigsten Umständen ein vielfaches ist. Torfstreu kann dagegen bei ihrem sehr geringem Volumgewicht leicht ihr drei- bis vierfaches Gewicht an flüssigen Exkrementen aufsaugen.

Wenn man nun aber nach diesen Resultaten ohne weiteres die physikalische Befähigung der einzelnen Materialien, als Einstreu zu dienen, abschätzen wollte, so würde man zu einem sehr schiefen Urteile gelangen, das mit den Anschauungen der Praxis in direktem Widerspruche stünde.

Die Laubstreu müsste der blossen Aufsaugungsfähigkeit nach dem Stroh übergeordnet werden; dennoch spricht die Meinung der Praktiker für die grössere Befähigung des letzteren, als Einstreu zu dienen, und dies liegt ohne Zweifel in der eigentümlichen Gestalt der Strohhalme, die den Zusammenhalt grösserer Streumassen und nachher des Mistes (langer Mist) bewirkt, während die losen Blätter nichts von diesen Eigenschaften zeigen. Und doch beruht die Fähigkeit, breiige Exkremente festzuhalten und so das rasche Fortschaffen derselben aus dem Stalle in die Mistgrube zu gestatten, wesentlich auf dieser Konsistenz des Streumaterials.

*) Vergl. Breitenlohner: Fühling's Landw. Zeitung, 1874, 11, p. 842.

Gleiche Volumina Streu nehmen Flüssigkeiten auf:

Föhrenreisig	100	Bohnenstroh	598
Fichtenreisig	150	Erde	626
Roggenstroh	461	Laubstreu	1038.

In Bezug auf die Torfstreu ist weiter auf einen Umstand aufmerksam zu machen, der dieselbe wesentlich vor der rein vegetabilischen Streu auszeichnet und den nur die meisten anderen erdartigen Materialien mit ihr teilen. Wir haben schon hervorgehoben, dass eine der nützlichsten Wirkungen der Einstreu darauf beruht, dass sie die Exkremente vor einer zu rasch und namentlich unter Verlusten von Ammoniak vor sich gehenden Zersetzung beschützt, indem sie dieselben zwischen sich verteilt und dadurch den Verlauf der Reaktion mässigt. Torf und Erde haben nun, wie wir uns aus dem letztbehandelten Abschnitt erinnern, noch die spezifische Fähigkeit, gerade dieses Ammoniak, das sich durch Zersetzung von Harnstoff, Hippursäure u. s. w. bildet, in sich festzuhalten und vor Auswaschung und Verflüchtigung zu bewahren. Es bedarf nur dieses Hinweises, um inne zu werden, dass das Absorptionsvermögen dieser Materialien auf die Verwendung derselben zur Einstreu seine guten Dienste leisten muss, und diese Folgerungen haben bereits durch Berichte aus der Praxis ihre Bestätigung erhalten*). Namentlich für die Pferdeställe in den Städten, für welche man doch Streu käuflich erwerben muss, hat die Torfstreu vielen Eingang gefunden.

Zum Schlusse kann in Bezug auf alle Streumaterialien noch einmal hervorgehoben werden — was schon aus dem Gesichtspunkt der flüssigkeitsaufsaugenden Fähigkeit (Wasserkapazität) der Streusorten hervorgeht, dass sie im möglichst trockenen Zustand gebraucht werden sollen.

Nachdem wir so die technische Beurteilung der Streumaterialien mit einer gewissen Ausführlichkeit besprochen haben, können wir nicht umhin, mit einigen Worten darauf zu weisen, dass nicht in dieser technischen Beurteilung der Hauptgesichtspunkt für die Entscheidung der Frage nach der Zweckmässigkeit dieser oder jener Streusorte liegt. Es ist notwendig, dass man wisse, dies ist gut und jenes besser; aber in der Praxis wird einem meistens die Wahl nicht schwer gemacht durch die einfache wirtschaftliche Unmöglichkeit, über ein beliebiges Material in der gewünschten Menge zu verfügen.

Soweit ich in praktischen Dingen blicke, scheint mir die Sache meistens so zu liegen. Man hat — und diesen Fall haben wir bereits angedeutet — im wesentlichen Weideland und infolgedessen kein Bedürfnis an vielem voluminösen Dünger; dann hat die Streu eine ganz untergeordnete Bedeutung. Ein zweiter ähnlicher Fall ist der, dass man wohl den grösseren Teil seines Geländes unterm Pfluge hat, aber dasselbe hat durch Überreichtum an Humusstoffen oder aus anderen Gründen kein Bedürfnis, gelockert oder gebunden zu werden (Moorkolonien, frischer Meereskley). Alsdann tritt trotzdem, dass man über Stroh im Überflusse verfügt, doch die Bedeutung desselben als Streumaterial so sehr in den Hintergrund, dass man es grösstenteils verkauft und in der Technik verwendet. — Der entgegengesetzte Fall ist nun

*) Fleischer hat z. B. den leicht zersetzbaren (ammoniakalischen) Stickstoff in sonst genau analogem Miste mit Torfstreu bereitet grösser gefunden als in solchem mit Stroh bereitet (vergl. Blätter für Moorkultur 1884). Glänzende mit der Torfstreu erzielten Resultate hat kürzlich ein Vertreter dieser Industrie, van de Blocquerie, bekannt gemacht. Vergl. Mededeel. e. Ber. v. d. Geldersch-Overyssele Maatschappy, 1894, II, p. 63. Doch ist diese Darstellung der Natur der Sache nach etwas parteiisch.

aber der, dass man viel verhältnismässig unfruchtbares Gelände unterm Pfluge hat, oder Land, das gar sehr der Auflockerung durch starke und regelmässige Stallmistdüngung bedarf, dann handelt es sich darum, viel Stallmist zu erzeugen und zugleich aus demselben keine Pflanzennährstoffe verloren gehen zu lassen, im Gegenteil, wenn möglich, noch etwas hinzuzufügen. Reicht hierzu das auf dem Hofe erzeugte Stroh aus, so wird man sich in der Regel nach keinem Surrogate umsehen, es sei denn, dass Strohhandel in der Nähe besteht und gleichfalls Torfstreu in der Nähe zu haben ist. Ist aber das Stroh unzureichend, so macht man eben aus der Not eine Tugend und nimmt die abfallenden Blätter aus dem Walde, schält die Heidenarbe und fängt damit die flüssigen und breiigen Auswurfstoffe auf, ohne deshalb zu behaupten, dass Waldstreu und Heideplaggen besser seien als Stroh. Man macht's eben wie der Wirt im Gasthof, der die Suppe streckt, wenn unerwartet Gäste erscheinen, der aber deshalb diese Methode noch nicht in einem Kochbuche der Nachwelt überliefert.

Über die Frage, ob die Waldstreu in den Wald gehört und nicht aufs Feld, haben wir hier nicht zu debattieren. Sicher ist, dass dieselbe für den Landwirt besser ist als nichts, und dass der Wald, auch abgesehen von solchen Streusorten, die für die Humusbildung im Walde nachteilig erachtet werden*), bei mässiger Streunutzung nicht notwendig zu Grunde geht. Sicher ist aber auch, dass alte Gerechtsame und Gewohnheiten den Wald oft unverhältnismässig benachteiligen, und dass eine Anordnung, wonach dem Waldbesitzer die freie Verfügung über alle seine Produkte bleibt, anzustreben ist. Ungefähr dieselbe Entscheidung erscheint mir als die allein richtige auf dem gleichfalls viel umstrittenen Gebiete der Heideplagge. Ohne Zweifel wird seitens der Landwirte viel gesündigt in betreff des übermässigen Gebrauchs dieses Surrogats, weil dieses umsonst zu haben ist; aber noch niemand hat auf Heide-land mit Vorteil gewirtschaftet, ohne von der Plagge Gebrauch zu machen.

Wenn man mit der vorhin angegebenen Analyse derselben den minimalen Gehalt des Heidesandes an Nährstoffen**) vergleicht, so begreift man, dass die ärmlichste Heidevegetation noch immerhin eine nicht unerhebliche Konzentration an Nährstoffen veranlasst.

*) Vergl. Heyer: Der Waldbau, 1891, p. 99.

**) Vergl. Bodenkunde, Vorlesung 3, p. 41.

Dritte Vorlesung.

Der Stalldünger (Fortsetzung). — Seine Zusammensetzung, Behandlung und natürliche Veränderung.

Mit der Besprechung der Streumaterialien am Ende der zweiten Vorlesung haben wir bereits das wichtige Gebiet der rationellen Behandlung des Stallmistes betreten. In Bezug auf diesen Gegenstand ist die Agrikulturchemie im stande gewesen, der praktischen Landwirtschaft nicht unbedeutende Dienste zu leisten, und es versteht sich daher von selbst, dass wir demselben hier unsere besondere Aufmerksamkeit schenken. Wir werden noch in der heutigen Vorlesung im stande sein, zu einigen allgemeinen Gesichtspunkten in Bezug auf diesen Gegenstand zu gelangen, wollen aber zuvor einen Blick werfen auf die Zusammensetzung der verschiedenen Sorten von Stallmist und die natürliche Veränderung derselben.

Die Zahlen, die nun hier für die einzelnen Mistarten in den verschiedenen Stadien mitgeteilt werden können, sind der Natur der Sache nach weite Grenzen oder zufällige Einzelfälle innerhalb derselben, zwischen welchen sich die Wahrheit bewegt; sie sind deshalb nicht ohne weiteres einer Anwendung zu wirtschaftlichen Schlussfolgerungen fähig. Wir werden vielmehr nachher einen andern Weg kennen lernen, auf dem es mit grösserer Sicherheit möglich ist, sich im einzelnen realen Fall Aufschluss über die Zusammensetzung des Mistes zu verschaffen.

Wenn wir uns erinnern, was in der zweiten Vorlesung über die Abhängigkeit der Zusammensetzung der Exkreme von der Ernährung der Tiere gesagt wurde und welcher Schluss daraus auf die Konstanz der Zusammensetzung dieser Exkreme bei den einzelnen Tierarten gezogen wurde, und hinzufügen, dass die Einstreu in einer geordneten Wirtschaft sehr gleichmässig und gleichartig zu geschehen pflegt, so wissen wir schon im voraus, welche einzelnen Mistarten wir gleichmässiger zusammengesetzt und geeigenschaftet finden werden. Pferde werden meistens jahraus jahrein in derselben Weise gefüttert, bei Schafen ist auch noch verhältnismässige Gleichmässigkeit in der Ernährung die Regel, während beim Rindvieh und noch mehr bei den Schweinen, auch wenn man bei ersterem nach rationellen Prinzipien füttert und die vorgeschriebenen Normen genau einhält, sehr bedeutende Verschiedenheiten namentlich in Bezug auf die Aschenbestandteile der Futterstoffe an der Tagesordnung sind.

Wir werden also für die Zusammensetzung des Pferdemistes noch eher Zahlen anzugeben im stande sein, welche für die Praxis brauchbar sind, als dies beim Rindviehmist oder gar beim Schweinemist möglich ist. — Man beachte folgende Angaben, welche zugleich Anhaltspunkte gewähren über die von einer bestimmten Anzahl Tieren zu erwartende Menge von Dünger, welche zu kennen für Kalkulationen für die Praxis natürlich unentbehrlich ist.

Pferdemist.

	Tägl. Exkremente eines Pferdes *).	Tägl. Einstreu (2 kg Weizenstroh).	Frischer Mist.	Prozentisch im Durchschnitt.
Wasser	9,9 — 11,7 kg	0,41 kg	10,4 — 12,1 kg	70,0 %
Organ. u. flücht. Subst.	2,2 — 3,1	1,5	3,7 — 4,7	26,3
darin Stickstoff	0,08—0,11 kg	0,01 kg	0,09—0,12 kg	0,67 %
Gesamtasche	0,27— 0,67	0,12	0,39— 0,79	3,7
darin Phosphorsäure	0,02	0,005	0,02	0,14
„ Kali	0,13—0,16	0,01	0,14—0,17	0,94
Summa	12,6 — 15,6 kg	2,0 kg	14,6 — 17,6 kg	100 %.

Man sieht, dass trotz des eben Gesagten schon bei Berücksichtigung einiger wenigen Angaben die Zahlen sich zwischen sehr erheblichen Differenzen bewegen, und dabei ist noch nicht einmal wahrscheinlich, dass die äussersten Grenzfälle erreicht sind. Die mitgeteilten Zahlen haben eher einen Wert, um eine Vorstellung zu gewinnen von der von einem Pferde bei der üblichen Einstreu zu erhaltenden Mistmenge als von der Zusammensetzung des erhaltenen Mistes selber.

Dies gilt nun noch in weit höherem Grade von dem Rindviehmist, und um in den Angaben über dessen Menge und Zusammensetzung nicht völlig in der Luft zu stehen, ist es nötig, einen mehr prazisierten Fall der Ernährung ins Auge zu fassen, der dann freilich keinerlei Verallgemeinerung fähig ist. Es kommt für die Menge und Zusammensetzung des Rindviehmistes, ausser der Verschiedenartigkeit einer bei ein und derselben Fütterungsnorm und ein und demselben Nährstoffverhältnis verabreichten Futtermasse, noch ganz besonders in Betracht, dass beim Rinde die Tendenz der Viehhaltung eine ganz verschiedene ist, dass der Landwirt vom Rindvieh entweder Milchproduktion, Fleischproduktion oder aber Arbeit verlangt, und dass je nach dieser Tendenz die Zusammensetzung der Futtermasse sich nach einer andern Fütterungsnorm richtet. — Ausserdem macht das beim Rindvieh so verschiedene Lebendgewicht allgemeinere Angaben unmöglich.

Ochsenmist

bei Erhaltungsfutter auf Tiere von 500 kg Lebendgewicht**).

	Tägl. Exkremente eines Ochsen.	Tägl. Einstreu (3 kg Weizenstroh).	Frischer Mist.	Prozentisch.
Wasser	27,2 kg	0,6 kg	27,8 kg	81,3 %
Organ. u. flücht. Subst.	3,35 kg	2,25 kg	5,6 kg	16,4 %
darin Stickstoff	0,11	0,02	0,13	0,37
Asche	0,64	0,16	0,8	2,3
Summa	31,2 kg	3,0 kg	34,2 kg	100 %.

*) Grossenteils nach den von Hofmeister und Boussingault gelieferten Zahlen; vergl. Heiden: Düngerlehre, II, p. 58. Untergeordnete Änderungen nach anderen Analysen haben stattgehabt.

**) Die hier mitgeteilten Zahlen sind aus den zahlreichen Versuchen von Henneberg, Stohmann und Rautenberg als Durchschnittszahlen berechnet und in Heiden's Düngerlehre, II, p. 38 und 70 mitgeteilt. Dieselben sind also Mittelwerte für die Ernährung mit

Ganz anders gestalten sich aber diese Durchschnittszahlen bei Mastfutter. Eine Mastfuttermischung hat den Zweck, nicht bloss ein Tier auf dem Körpergewicht zu erhalten, sondern bei ihm Zunahme, Fleisch- und Fettansatz zu bewirken, in deren Produktion ja eben der Sinn der Mast liegt. Dazu ist aber einmal notwendig, wie jedermann weiss, *mehr* zu füttern als da, wo man einen Körperzuwachs nicht beabsichtigt, und zweitens, wie aus der Theorie der Ernährung hervorgeht, wenigstens zweckdienlich, in einem andern Nährstoffverhältnis zu füttern. Was uns von dieser Abänderung der Fütterungsnorm für unsern Zweck vorzüglich interessiert, ist, dass die verabreichte Futtermischung bei der Mast stickstoffreicher ist als das Erhaltungsfutter von Arbeitstieren.

Nun findet zwar bei der Mast Ansatz statt, und deshalb ist es nicht erlaubt, so ohne weiteres aus der veränderten Fütterungsnorm auf die Veränderung in Menge und Beschaffenheit der Exkremente einen Schluss zu machen, weil eben ein Teil der Futterstoffe nicht wieder durch Blase und Darm abgeschieden wird. Allein es genügt, an diesem Orte zu bemerken, dass ein vergrößerter Ansatz auch mit einem noch weit mehr vergrößerten Umsatz zum grössten Leidwesen des Viehmästers unabänderlich verknüpft ist, dass eine reichere und stickstoffhaltigere Futterration trotz des Ansatzes auch eine reichere und stickstoffhaltigere Ausscheidung von Exkrementen zur Folge hat. Wir teilen diesen Satz hier mit, ohne es für nötig zu erachten, dabei auf dessen Begründung, auf die Gesetzmässigkeiten des Fleisch- und Fettansatzes näher einzugehen.

Ochsenmist

bei Mastfutter auf Tiere von 500 kg Lebendgewicht*).

	Tägl. Exkremente eines Ochsen.	Tägl. Einstreu (3 kg Weizenstroh).	Frischer Mist.	Prozentisch.
Wasser	36,4 kg	0,6 kg	37,0 kg	84,1 %
Org. u. flücht. Subst.	3,64	2,25	5,9	13,4
darin Stickstoff	0,18 kg	0,02 kg	0,20 kg	0,45 %
Asche	0,91	0,16	1,07	2,5
Summa	40,9 kg	3,0 kg	43,9 kg	100 %.

sehr verschiedenen Futtermitteln, nicht aber für jede mögliche Art der Ernährung, da die Tiere dabei ihr Körpergewicht auf gleicher Höhe erhielten und keine andere Stoffproduktion vollzogen als die der Exkremente. In den neuen sorgfältigen Versuchen v. Heiden (vergl. Ber. Pommritz, 1883, 1884) wurde täglich von Rindvieh per 500 kg Lebendgewicht reichlich 40 kg Mist und reichlich 4 kg Jauche erhalten.

*) Durchschnittszahlen aus den Versuchen derselben Forscher; vergl. die vorige Anmerkung. Kuhmist aus einem Bauernhofe bei Wageningen zeigte die folgende Zusammensetzung:

Wasser	77,7 %
Org. u. flücht. Substanz	18,2
darin Stickstoff	0,54 %
Asche	4,1
darin P_2O_5	0,24
„ K_2O	0,49.

Die grössere Menge Mist, die bei derselben Einstreu bei Mastfütterung auf die gleiche Häupterzahl gleich schwerer Tiere fällt, ist aus der Gegenüberstellung dieser Zahlen mit den vorhergehenden deutlich ersichtlich. Der relativ höhere Stickstoffgehalt der Exkremente von Masttieren ergibt sich aus der Vergleichung der beiden gegebenen Verhältniszahlen*). Die Gesamtausscheidungen plus Streu bei Erhaltungsfutter enthielten nur durchschnittlich 0,37 % Stickstoff, bei Mastfutter 0,45 %.

Wir verzichten darauf, analoge Mitteilungen über den Schweinemist und Schafmist**) zu machen, da bei dem ersteren Tiere die Ernährung viel zu ungleich ist, um den so erhaltenen Zahlen noch irgend einen Wert beilegen zu können, und weil beim Schafe häufig keine so regelmässige Einstreu vorgenommen wird, um die Resultate, die wir für die Ausleerungen dieser Tiere schon in der vorigen Vorlesung mitgeteilt haben, nicht schon an und für sich zu einem Überblick über das Wesen des Schafmistes genügend erscheinen zu lassen.

Gehen wir nun zu der Methode über, welche für die Ermittlung der Zusammensetzung des frischen Mistes als die rationellste erscheint, zur direkten Berechnung dieser letzteren aus Fütterung und Einstreu. Dass eine derartige Ermittlung theoretisch möglich ist, versteht sich nach dem früher über Zusammenhang zwischen Fütterung und Ausscheidung Gesagten von selbst. Ihre praktische Zulässigkeit beruht auf dem Besitz zuverlässiger Durchschnittsanalysen der Futterstoffe und unserer hinreichenden Bekanntschaft mit den Hauptsätzen des tierischen Stoffwechsels —

Mittelzahlen von Holdefleiss (a. a. O.), zusammengestellt für Rindviehdünger aus Tiefställen, sind:

Stickstoff	0,54 %
Phosphorsäure	0,27
Kali	0,67 .

*) Man pflegt, gestützt auf den hohen Düngerwert der Entleerungen von Tieren bei reichlicher oder reichhaltiger Fütterung, häufig zu argumentieren, dass eine solche Fütterung schon aus dem Grund ganz im allgemeinen die rationellere wäre, weil das, was nicht zum Ansatz diene, dem Dünger zu gute käme. Diese Folgerung ist aber augenscheinlich eine jener vielen scheinbaren Stützen, welche man dem grossen Publikum gegenüber einer praktisch richtigen Lehre leiht, denn es kann ja nicht verborgen bleiben, dass der Wert eines Futtermittels als Düngestoff ein ungleich niedrigerer ist denn als Nahrungsstoff. So selbstverständlich diese Bemerkung manchem erscheinen mag, so ist sie doch bei dem ausgedehnten Gebrauche, welcher von jenem Scheingrunde gemacht wird, nicht ganz überflüssig.

**) Schafmist, in den Ställen festgetreten, aus der Umgebung von Wageningen zeigte die folgende Zusammensetzung:

Wasser	64—73 %
Org. u. flücht. Substanz	16—25
darin Stickstoff	0,7—0,8 %
Aschenbestandteile	10—12
darin Phosphorsäure	0,2—0,4
„ Kali	1,0—1,1 .

Die produzierte Menge Mist ist bei Schafen in Bezug auf das Lebendgewicht eine ähnliche wie bei Mastochsen, wobei jedoch nicht zu vergessen ist, dass es sich um Ausscheidungen handelt von grösserer Konzentration. Je kleiner das Tier, desto grösser der Stoffwechsel per Einheit Lebendgewicht.

auf dem Besitz von Zahlen in dieser Richtung, die wenigstens relativ eine weit grössere Sicherheit gewähren, als etwa Durchschnittsanalysen des Mistes selbst bieten können.

Bei Tieren auf dem Erhaltungsfutter gestaltet sich diese Methode am einfachsten. Bei diesen, also bei Pferden, Arbeitsochsen (auch die nur Wolle produzierenden Schafe können, ohne weit fehlzugreifen, hierher gerechnet werden) weiss man mit Bestimmtheit, dass aller Stickstoff und alle Aschenbestandteile der verabreichten Futterstoffe im Harn und Kot wieder erscheinen müssen. Das Defizit an organischer Substanz (welche ja teilweise durch den Stoffwechsel des tierischen Körpers zerstört wird) lässt sich ebenfalls aus Erfahrungen, die man bei exakten Fütterungsversuchen in hinreichender Anzahl gemacht hat, für eine jede Tierklasse auf einem jeden Ernährungszustand annähernd genau beurteilen. Weiter rechnet man dann die Bestandteile des Streustrohs, die man ebenfalls aus Durchschnittsanalysen hinreichend kennt, unverändert hinzu und hat so alle Daten in der Hand, deren man bedarf, um die in einer (auf eine gegebene Periode entfallende) Mistmenge enthaltene organische Substanz, Stickstoff und Aschenbestandteile, kennen zu lernen. Um freilich den prozentischen Gehalt des Mistes an allen diesen düngenden Stoffen zu wissen, müsste man entweder dessen durchschnittlichen Wassergehalt oder die auf eine gewisse Zeit entfallende Mistmenge kennen. Allein es handelt sich hier in der Regel gar nicht um die prozentischen Mengen an einzelnen Bestandteilen, sondern lediglich um die Kenntnis von der absoluten Menge dieser Bestandteile, welche in einem bestimmten Misthaufen samt Jauchengrube vorhanden sind. (Da übrigens von beiden der Kubikinhalt sich annähernd berechnen lässt, so lassen sich indirekt auch wieder prozentische Zahlen annäherungsweise feststellen.) Das Wasser unterliegt überdies in seiner im Mist vorhandenen Menge grossen Zufälligkeiten und periodischen Schwankungen, und die Kenntnis dieses Gehalts und damit des Prozentgehalts von Pflanzennährstoffen von heute würde schon für morgen nicht mehr genau richtig sein.

Wir haben früher angegeben, dass die organische Substanz des Futters beim Durchgang durch den Körper derjenigen Tiere, mit denen wir es hier zu thun haben, und bei den gewöhnlichen Ernährungsverhältnissen sich um die Hälfte vermindere*). Von dieser Angabe machen wir natürlich Gebrauch, wenn wir uns die Aufgabe stellen, die organischen Bestandteile des Mistes zu ermitteln. Auf der gleichen Grundlage

*) Das *Pferd* scheidet nach vorhandenen Untersuchungen im Mittel von der Trockensubstanz des Futters 47% (vergl. bei Heiden: Düngerlehre, II, p. 21 und 38f.) durch Darm und Blase wieder ab, und aus dieser Angabe kann man leicht mit Hilfe der Zahl des Aschengehalts des Futters die Verminderung an organischer Substanz, wie wir sie im frischen Mist erwarten dürfen, berechnen. Der *Ochse auf dem Erhaltungsfutter* scheidet nach den schon benutzten Durchschnittszahlen von Henneberg, Stohmann u. Rautenberg 49% der Trockensubstanz in den Auswurfstoffen ab. Für das *Schaf* ist einmal dieselbe Zahl als Mittelzahl gefunden worden; Henneberg (Journ. f. Landw., 1870, p. 189) fand bei Heufütterung und bei einem geringen Stoffansatz 50% im Durchschnitt mehrerer Versuche. — Es braucht kaum hinzugesetzt zu werden, dass diese Zahlen in Wirklichkeit erheblichen Schwankungen ausgesetzt sind, dass z. B. ein Futtergemisch, das viele unverdauliche Stoffe neben den zur Erhaltung des Körpergewichts notwendigen leicht verdaulichen enthält, jene Zahlen vergrössert und umgekehrt.

beruht auch die in der praktischen Düngerlehre gebräuchliche Regel, die Hälfte der Futtertrockensubstanz mit der des Streustrohs zusammenzuzählen und mit vier zu multiplizieren, um so die Menge produzierten Düngers, in welchem dann 75 % Wasser vorausgesetzt wird, zu berechnen.

Wenig anders gestaltet sich die Berechnung des Mistes aus verabreichter Fütterung und Streu bei denjenigen Tieren, von welchen wir noch eine andere Stoffproduktion erwarten, als Ausscheidung von Exkrementen, bei *Jungvieh*, *trächtigen Muttertieren*, *Milchvieh* und *Mastvieh*. Hier kann die Berechnung der Ausscheidungen wie dort angestellt werden, nur dass vom Gehalt der Futterstoffe an Stickstoff und einzelnen Aschenbestandteilen der Gehalt vom Körperzuwachs, von gelieferter Milch, von Fleisch- und Fettansatz an diesen nämlichen Stoffen, welchen wir ja auch aus Durchschnittsanalysen kennen, abgezogen werden muss, um den Gehalt der Exkremente an denselben zu kennen. Doch beträgt nach Untersuchungen, die von Lawes und Gilbert in Rothamsted in dieser Richtung angestellt worden sind, der Stickstoffansatz bei Mastochsen und Schafen nur ungefähr 4 % des Futters und nur beim Schweine kann ein ansehnlich höherer Prozentsatz an Stickstoff (nicht aber an Aschenbestandteilen) auf diese Weise in Verlust geraten. Für Bestimmung der organischen Substanz der Auswurfstoffe kann trotz der Komplikation infolge des Ansatzes wieder angenommen werden, dass ungefähr die Hälfte des Verfütterten darin wieder erscheint*).

Für die Ernährung trächtiger Muttertiere (und ebenso wenig für die des Jungviehs verschiedener Tierklassen) sind allerdings die Zahlen der Ausnützung der organischen Substanz der Futterstoffe noch nicht in der Weise berechnet worden. Es ist aber in betreff solcher Tiere immerhin darauf hinzuweisen, dass ja auch die Differenzen für das Verhältnis des Wiedererscheinens der gefütterten Trockensubstanz in den Exkrementen bei den Ochsen nicht sehr erheblich gewesen sind, ob diese nun auf dem Erhaltungsfutter sich befanden oder gemästet wurden, dass vielmehr die Durchschnittszahlen für dieses Verhältnis innerhalb der Grenzen desselben Verhältnisses bei ein und derselben Fütterungsweise fielen, und daraus geht hervor, dass man auch für Milchvieh und dergl. derartige Zahlen benutzen kann, um so mehr, als es bei der Ermittlung der Düngebestandteile des produzierten Mistes gar nicht so ängstlich auf etwas mehr oder weniger organische Substanz ankommt, da diese ja doch im Mist, selbst bei dessen alsbaldiger Verwendung noch eine weitere Veränderung (Verminderung durch den Verwesungsprozess) erleidet, die sich aller Kontrolle entzieht**).

*) Wir sehen bei Mastochsen nach den Untersuchungen von Henneberg, Stohmann und Rautenberg den durchschnittlichen Prozentsatz der in den Exkrementen erscheinenden Trockensubstanz etwas kleiner werden als bei Ochsen auf dem Erhaltungsfutter. Der Prozentsatz ward im Durchschnitt gefunden zu 47 %.

**) Ein besonders für holländische Verhältnisse passendes Beispiel einer solchen Düngerberechnung aus der Ernährung giebt G. Reinders in seinem „Handboek v. d. Nederl. landbouw“, 3. Druck, p. 360.

Der Stall, für welchen die Berechnung gilt, enthält 8 Kühe, die zur Zeit keine Gewichtsveränderung zeigen. Verfüttert wird in 200 Tagen:

Die hier beschriebene Methode der Berechnung der düngenden Bestandteile des Mistes aus der Fütterung und der Einstreu gilt überhaupt in dieser Form nur für den *frischen Mist*. Wird derselbe unmittelbar auf das Feld gebracht, wie dies für den Schafmist häufig und auch in einzelnen Wirtschaften oder gewissen Jahreszeiten für den Rindviehmist geschieht, so weiss man aus jener Berechnung direkt, was man dem Felde einverleibt hat, obschon freilich streng genommen schon bei mehrtägigem Liegen des Mistes unter den Tieren, das gerade in jenen Fällen un-

60 hl Hafer von 46 kg = 2760 kg.
 10000 kg Haferstroh,
 5000 „ Gerstenstroh,
 6000 „ Heu,
 400 „ Leinkuchen,
 10000 „ Runkelrüben,
 5000 „ Blätter von Runkeln, während ausserdem noch
 5000 „ Weizenstroh und
 2000 „ Gerstenstroh als Streu diene.

Als Milchertrag wird in derselben Zeit angenommen 9000 l und an Kälbern soll 200 kg produziert sein.

Man hat alsdann:

	Trockensubstanz.	N.	P ₂ O ₅ .	H ₂ O.	CaO.
2760 kg Hafer	2415 kg	56 kg	20 kg	14 kg	3 kg
10000 „ Haferstroh	8640	73	19	90	36
5000 „ Gerstenstroh	4335	29	9	48	16
6000 „ Heu	5124	37	25	79	52
400 „ Leinkuchen	352	18	6	5	2
10000 „ Runkelrüben	1300	19	7	45	3
500 „ Runkelblätter	600	18	5	28	10
oder total mit Verlust des halben Trockensubstanzgewichtes:	11383 kg	250 kg	91 kg	309 kg	122 kg
Dazu kommt dann das Streustroh:					
	Trockensubstanz.	N.	P ₂ O ₅ .	H ₂ O.	CaO.
5000 kg Weizenstroh	4322	24	11	32	13
2000 „ Gerstenstroh	1734	11	4	19	7
total:	17439	285	106	360	142
und hiervon geht nun ab die tierische Produktion:					
	Trockensubstanz.	N.	P ₂ O ₅ .	H ₂ O.	CaO.
9000 l Milch	—	43	15	13	12
200 kg Kälber	—	5	3	0,5	3
so dass übrig bleibt:	17439	237	88	346,5	127

(für die Trockensubstanz ist diese Korrektur der Geringfügigkeit wegen unnötig).

Wenn nun unter diesen Voraussetzungen ein Mist erzeugt wird von 70 % Wassergehalt, so erhält man aus dem Stalle 58130 kg frischen Mist von

0,41 % Stickstoff,
 0,15 „ Phosphorsäure,
 0,56 „ Kali,
 0,22 „ Kalk

oder per Kuh 7266 kg Dünger oder täglich reichlich 36 kg.

vermeidlich erscheint, einige Zersetzungen und infolgedessen Verluste an einzelnen Substanzen, selbst bei Anwendung von Konservierungsmitteln stattfinden*).

Von tiefergreifender Bedeutung für die Zusammensetzung des Stallmistes werden aber die Veränderungen, welche derselbe beim Lagern in der Düngergrube unfehlbar erleidet. Manche dieser Veränderungen sind unbedingt schädlich für die düngende Wirkung des Mistes, und dieselben müssen natürlich nach Kräften eingeschränkt werden. Wieviel auf diesem Gebiete schon durch den sehr einfachen Schutz des Düngers vor der Sonne erreicht werden kann, beweist das Resultat einer blossen Bedachung der Düngerstätte. Moscrop**) hat vergleichende Düngungsversuche mit Stallmist ausgeführt, welcher in einem Falle in einer bedeckten Düngergrube, im andern Falle in einer unbedeckten der Verwesung überlassen worden war. Durch den ersteren wurden *ceteris paribus* sehr bedeutende Mehrerträge hervorgebracht. — Eine andere Anforderung besteht in der völligen Undurchlässigkeit derselben***).

Setzen wir zunächst die letztere Einrichtung voraus, so ist kein anderer Stoffverlust des auf der Düngerstätte lagernden Mistes samt Jauche denkbar als der durch Verflüchtigung. Die organische Substanz des Düngers verwest — und diese Verwesung, durch welche ein Teil der in der Ackererde nur schwer verweslichen organischen Stoffe, wie unverdaute Futterstoffe der Darmausleerungen und namentlich das Streustroh, in mehr zersetzbare Formen übergeführt wird, liegt z. T. durchaus in der Absicht des Landwirts. Dabei entsteht hauptsächlich Kohlensäure und Ammoniak. Erstere entweicht ziemlich vollständig; letzteres je nach der Einrichtung auch zu einem kleineren oder grösseren Teile je nach der Anwendung der Vorsorgmaassregeln, welche wir sogleich eingehender zu besprechen haben werden. Auch der völlig rationell behandelte Mist wird während der Verwesung, während er in den sogenannten „verrotteten“ Zustand übergeht, absolut kohlenstoffärmer und etwas stickstoffärmer, während er bei gleichzeitigem Verlust von Wasser relativ an dem letzteren Bestandteil sich bereichert. Für beide Bestandteile, organische Substanz und Stickstoff, wird also die Methode der Berechnung aus Fütterung und Einstreu, von der wir eben gesprochen haben, nicht mehr zulässig sein, sobald der frische Mist angefangen hat, sich in der beschriebenen Weise zu verändern. Für den Stickstoffgehalt wird dieselbe, gute Konservierungsmethoden vorausgesetzt, noch eher Anhaltspunkte gewähren, und man wird sich zuweilen noch durch Schätzungen helfen können.

Anders ist es mit den Aschenbestandteilen des Mistes. Eine Verminderung derselben in einem gegebenen Mistquantum ist nur denkbar, wenn derselbe im Hofe auf einem durchlässigen oder geneigten Terrain längere Zeit liegt und allda vom Regen ausgelaugt wird, nicht aber auf einer auch nur mässigen Ansprüchen genügenden Düngerstätte. Hier ist es in der That möglich, jene Methode der Berechnung, also z. B. für Kali und Phosphorsäure, auch noch für den verrotteten Mist anzu-

*) Bei mit der Berechnung vergleichenden direkten Analysen findet man darum in der Regel weniger Kali und namentlich Stickstoff, als nach jener erwartet werden sollte. Vergl. Wolff's Düngerlehre.

**) Vergl. Jahresbericht der Agrik.-Chem., 1865, p. 275.

***) Vergl. über Einrichtung von Düngerstätten Heiden: Düngerlehre, II, p. 97—109.

wenden, vorausgesetzt natürlich, dass man brauchbare Durchschnittsanalysen für den Gehalt an Aschenbestandteilen der Futterstoffe und des Einstreumaterials besitzt. Man wird in diesem Falle für eine in einer gewissen Zeit produzierte Mistmenge angeben können, dass so und so viel von den und den Aschenbestandteilen in derselben vorhanden sein müssen. Der Prozentsatz an diesen Bestandteilen ist aber natürlich auf diese Weise nicht zu ermitteln, derselbe wird vielmehr immer höher und höher, je länger man den Mist unter den bezeichneten Umständen verrotten lässt, da dann Wasser und organische Substanz in starker Abnahme begriffen sind. Zu dessen Berechnung muss man sich des vorhin angegebenen Umwegs bedienen.

Sind dagegen die gemachten Voraussetzungen nicht erfüllt, wird der Mist direkt den austrocknenden Strahlen der Sonne ohne genügende Anfeuchtung ausgesetzt, so ist der Stickstoffverlust ein weit grösserer. Ist derselbe dem Regen zugänglich und ruht er dabei gleichzeitig auf einer durchlässigen oder sonst leicht Abfluss gestattenden Unterlage, so wird er — zum grössten Schaden für dessen Düngerwert — von allen leichtlöslichen Bestandteilen, der ganzen Jauche, beraubt. In diesem Falle verliert der Mist nicht bloss eine grosse Menge stickstoffhaltiger löslicher Bestandteile und zwar nicht nur die des Harns, sondern ebenso, was durch den Verwesungsprozess aus den festen Exkrementen daran löslich geworden ist; er verliert auch eine grosse Menge wirksamer Aschenbestandteile, namentlich Kalisalze. Einen unter solchen gravierenden Umständen verrotteten Mist aus Fütterung und Einstreu auf seine Zusammensetzung auch nur in Bezug auf einen einzigen Bestandteil von Düngerwert berechnen zu wollen, müsste natürlich ein vergebliches Unternehmen bleiben. Es wäre aber auch ein ganz überflüssiges Unternehmen; denn in einer Wirtschaft, wo die erste (wenigstens für unsere intensiven Betriebsmethoden) rationelle Grundlage der Düngerbehandlung fehlt, da kann nicht wohl ernstlich von jenen raffinierten Methoden der Düngerviirtschaft, welche sich an Berechnungen anknüpfen, die Rede sein.

Wir werden, um uns eine Vorstellung von Zusammensetzung und Eigenschaften des verrotteten Mistes zu verschaffen, uns also nicht an die Methode jener Berechnung aus Fütterung und Einstreu halten dürfen; wir müssen vielmehr auf einem direkteren Wege uns einen Einblick in jene Verhältnisse zu verschaffen suchen.

Völcker hat schon frühzeitig umfassende Versuche über die relative Zusammensetzung von frischem und unter verschiedenen Umständen verrottetem Hofdünger, d. i. einem Gemisch von den einzelnen Stallmistsorten, angestellt*), und wir wollen die wichtigsten der von ihm ermittelten Zahlen hier mitteilen. — Zunächst einiges über das Verfahren, das derselbe anwendete.

Frischer Mist, bestehend aus Pferde-, Rind- und Schweinemist, wurde analysiert und drei Haufen desselben unter verschiedenen Bedingungen sich selbst überlassen. Einer wurde im Freien gegen einen Steinwall angelehnt und so den Einflüssen der Witterung ausgesetzt, ein anderer unter Dach gebracht und, um allzugrosse Austrocknung zu verhüten, einmal mit Wasser angefeuchtet, ein dritter im Freien ausgebreitet. Alle drei wurden von Zeit zu Zeit gewogen und Proben einer vollständigen

*) Vergl. Journ. of England, 1856, V. 17, p. 191, und Heiden: Düngerlehre, II, p. 118.

Analyse unterworfen. Die Mitteilungen dieser Analysen würden indessen wenig Wert haben, wenn man sich nicht vorher eine Vorstellung von dem absoluten Gewichtsverlust der einzelnen Haufen gebildet haben würde. Dieser wird durch folgende Zahlen ausgedrückt:

	I. Haufen.		II. Unter Dach.		III. Gebreitet.	
Gewicht des frischen Düngers	Verlust in Prozenten.		Verlust in Prozenten.		Verlust in Prozenten.	
	2838 Pfd.		3258 Pfd.		1652 Pfd.	
nach 6 Monaten	2026	28,8	1613	50,4	1429	13,4
nach 9 Mon. 20 Tag.	1994	29,7	1297	60,0	1012	38,7
nach 12 Mon. 12 Tag.	1974	30,8	1235	62,1	950	42,4.

Diese absoluten Verluste sind, wie wir gleich sehen werden, einestheils auf Kosten von Wasser zu setzen; deshalb schreiten dieselben, z. B. bei II., nachdem einmal eine gewisse den Umständen angemessene Lufttrockene erreicht ist, nicht mehr weiter fort. Unter Dach ist selbstredend die Austrocknung eine vollkommener, bei dem ausgebreiteten Miste dagegen, da die ersten 6 Monate (der Versuch beginnt den 3. Novbr.) in den feuchten Winter fallen, anfangs sehr langsam, nachher vollkommener als bei dem nicht gebreiteten.

Die prozentische Zusammensetzung des Mistes war*):

Wasser	66,17 %
Organische u. flüchtige Substanz	28,24
(hiervon löslich)	2,48 %
Stickstoff	0,64 **)
(hiervon als Ammoniak)	0,12
Asche	5,59 %.

Nach 6 Monaten:	I. Haufen.	II. Unter Dach.	III. Gebreitet.
Wasser	65,95 %	56,89 %	80,02 %
Organische u. flüchtige Substanz	23,50	30,06	12,62
(hiervon löslich)	4,27 %	4,63 %	1,16 %
Stickstoff	0,89	1,19	0,53
(hiervon als Ammoniak)	0,09	0,07	0,05
Asche	10,55 %	13,05 %	7,36 %.

Diese Zahlen geben uns schon eine gute Vorstellung von den Veränderungen, welche der Mist in den einzelnen Fällen erlitten hat***). Haufen I. hat seinen alten

*) Die Jauche muss bei diesem Miste als teilweise abgeflossen gedacht werden, wie aus der Zusammensetzung desselben hervorgeht.

**) Die Ammoniakbestimmungen in diesen älteren Analysen sind allerdings infolge des Gebrauchs von starken Alkalien zu hoch. Vergl. Holdefleiss a. a. O. Dies thut aber den hier gemachten Betrachtungen keinen Eintrag, da man doch die relative Veränderung aus ihnen erschen kann.

***) Übrigens ist darauf aufmerksam zu machen, dass nicht alle mitgetheilten Zahlen eine volle Zuverlässigkeit besitzen. So ist z. B. auffallend, dass Haufen I. nach 6 Monaten den

Wassergehalt bewahrt; es ist also Wasser und organische Substanz — etwa in dem der Zusammensetzung des Mistes entsprechenden Verhältnis — gleichmässig verschwunden. Der Gesamtverlust ist aber bedeutend; — es hat also intensive Verwesung stattgefunden. Dabei sind organische Substanzen in Lösung überführt worden, welche sich im verrotteten Miste vorfinden. Dies beweist zugleich und ebenso der Gehalt an Ammoniakverbindungen und die unverminderten Aschenbestandteile, dass keine sehr bedeutende Auslaugung der löslichen Bestandteile Platz gegriffen hat. Der Stickstoffgehalt ist fast im Verhältnis der absoluten Gewichtsverminderung relativ erhöht; es hat also auch keine bedeutende Ammoniakverflüchtigung stattgefunden. — Der Mist hat an seinem Gehalt an wertvollen Düngebestandteilen nur wenig eingebüsst.

Die Verminderung des Haufens II. unter Dach ist auf einen erheblichen Verlust an organischer Substanz und auf eine noch bedeutendere Austrocknung zu setzen. Verwesungsprozesse haben also auch unter diesen Umständen stattgefunden, aber es wurden verhältnismässig etwas weniger organische Stoffe in die lösliche Form überführt. An Stickstoff ist ausser einer kleinen Ammoniakverdunstung keine Verminderung, also eine relativ sehr bedeutende Bereicherung eingetreten, ebenso und naturgemäss bei den Aschenbestandteilen, da vom Regen geschützt keine Auslaugung eintreten konnte. — Der Mist hat in seinem Düngerwert für manche Zwecke zugenommen.

Der ausgebreitete Mist zeichnet sich durch seinen Wasserreichtum aus, weil bei ihm das Verdunstete wieder durch Regengüsse ersetzt worden; bei ihm ist in dieser Periode der absolute Verlust auf Kosten von organischer Substanz zu setzen, die teils verwest, teils ausgelaugt wurde, wie aus dem geringen Extraktgehalt zu ersehen ist. Auch der Stickstoff und speziell das Ammoniak hat eine absolute Verminderung erfahren. — Der Mist hat sehr erheblich an seinem Düngerwert eingebüsst.

Aus folgenden Angaben lassen sich dieselben Veränderungen für die anderen Perioden weiter verfolgen.

Nach $9\frac{2}{3}$ Monaten:

	I.	II.	III.
	Haufen.	Unter Dach.	Gebreitet.
Wasser	75,49 %	43,43 %	70,09 %
Organische u. flüchtige Substanz	15,15	30,14	11,05
(hiervon löslich)	2,95 %	4,13 %	0,49 %
Stickstoff	0,66	1,27	0,41
(hiervon als Ammoniak)	0,05	0,12	0,06
Asche	9,36 %	26,43 % *)	18,86 % *)

prozentischen Gehalt an Aschenbestandteilen beinahe verdoppelt hat, während der Gesamtverlust in dieser Zeit noch nicht ein Drittel beträgt. Es sind also jedenfalls Aschenbestandteile von aussen hinzugekommen. Dies ermahnt zu einer gewissen Vorsicht bei Benutzung der Angaben.

*) Die ganz unverhältnismässige Zunahme an Aschenbestandteilen ist auch hier teilweise auf Verunreinigungen zu setzen; vergl. die vorige Anmerkung.

Nach 12 $\frac{1}{2}$ Monaten:

	I.	II.	III.
	Haufen.	Unter Dach.	Gebreitet.
Wasser	74,29 %	41,66 %	65,56 %
Organische u. flüchtige Substanz	13,63	33,06	10,36
(hiervon löslich)	2,74 %	5,37 %	0,42 %
Stickstoff	0,65	1,51	0,39
(hiervon als Ammoniak)	0,05	0,17	0,03
Asche	12,08 %	25,28 %	24,08 %.

Der im Freien liegende Haufen I. hat den Sommer hindurch weitere tiefgreifende Veränderungen erlitten, er hat beinahe die Hälfte seiner noch vorhandenen organischen Substanz verloren, und dass sein absolutes Gewicht sich nicht weiter verändert hat, liegt lediglich nur an seinem grösseren Wasserreichtum. Dabei hat gleichzeitig eine beträchtliche Auslaugung stattgefunden; denn die lösliche organische Substanz hat sich vermindert. Auch der Stickstoffgehalt hat entsprechend abgenommen.

Der unter Dach gelegene Mist ist im wesentlichen nicht weiter ausgetrocknet und deshalb hat auch der Verwesungsprozess keine erheblichen Fortschritte machen können; die Menge der organischen Substanz hat auch absolut keine wesentlichen Änderungen mehr erlitten. Auslaugung war unmöglich; der Gehalt an löslichen organischen Stoffen hat eher eine relative Zunahme erlitten. Auf dieselbe Ursache und den gleichzeitigen Schutz vor der Sonne ist die verhältnismässige Bereicherung an Stickstoff und an Ammoniak zurückzuführen.

Der im Freien ausgebreitete Mist hat den Sommer hindurch einen Teil seines Wassers eingebüsst, aber von den zersetzbarsten organischen Substanzen bereits befreit, nur ziemlich kleine absolute Verluste an diesen erlitten; ferner sind die löslichen Anteile derselben noch vollständiger ausgelaugt, der Stickstoff- und speziell der Ammoniakgehalt bis auf ein Minimum reduziert worden.

Die Vergleichung aller drei unter so verschiedenen Umständen sich selbst überlassenen Mistproben in ihrer endlichen Zusammensetzung nach Jahresfrist giebt uns mit Berücksichtigung der verschiedenen absoluten Mengen der einzelnen Proben ein klares Bild von dem Einfluss der Behandlung des Mistes auf dessen Eigenschaften und Zusammensetzung und ebenso von den Unterschieden, welche ein gut behandelter verrotteter Mist dem frischen Mist gegenüber zeigen muss. Zugleich wird aber auch deutlich, dass es nicht möglich ist, allgemeiner gültige Angaben von der Zusammensetzung eines verrotteten Mistes zu machen, noch diese letzteren auf irgend eine Art zu berechnen. Es lässt sich nur sagen, dass derselbe im Vergleich mit dem frischen Mist verhältnismässig ärmer an organischer Substanz, reicher an unverbrennlichen Bestandteilen, und wenn eine rationelle Behandlung stattgefunden hat, reicher an Stickstoff, namentlich auch an für die Pflanzen zugänglicherem sein wird*).

*) Es sind ferner von Völcker Untersuchungen über die Veränderung schon verrotteten Dungs beim Lagern an der Luft ausgeführt worden; vergl. a. a. O. Aus den Resultaten derselben geht im wesentlichen das Gleiche hervor.

Nachdem wir uns durch die eben mitgeteilten Versuchsergebnisse ein Bild davon verschafft haben, in welcher tiefgreifender Weise der Stallmist unter extremen Umständen verändert werden kann, gelangen wir von selbst zu den Erfordernissen einer rationellen Düngerbehandlung.

Zunächst ist dafür zu sorgen, dass jegliche Auslaugung unmöglich ist, daher Undurchlässigkeit von Düngergrube und Jauchenbehälter. Nicht bloss die kleinen Bächlein mit bräunlicher Flüssigkeit, welche man noch so häufig aus den Düngerhaufen abfliessen sieht und welche ungemessene Mengen gerade der leichtest aufnehmbaren Pflanzennährstoffe mit fortführen, müssen verstopft werden, sondern auch Sorge getragen werden, dass nicht unterirdisch und daher dem Auge unsichtbar dasselbe geschehe. Gemauerte und zementierte Gruben müssen überall, wo der Stallmist überhaupt Wert hat, als absolute Erfordernisse gelten. Nur wo etwa der Haufen oben an einem geneigten Terrain liegt, welches als Grasland gebraucht wird, ist der Schaden minder gross, aber in der Regel doch noch vorhanden, weil die unter diesen Umständen entstehende natürliche Berieselung hinsichtlich der Menge der verwendeten Düngestoffe gänzlich unkontrollierbar bleibt. — Bedeckung der Düngerstätte und zwar gerade der durchlässigeren ist auch schon aus dem Gesichtspunkte anzuempfehlen, weil das Regenwasser an der Wegführung der löslichen Bestandteile einen so grossen Anteil hat.

Sodann ist eine ganz besondere Aufmerksamkeit zu richten auf die Verhütung der Stickstoffverluste infolge von Verflüchtigung von Ammoniak. Bei dem hohen wirtschaftlichen Werte dieses Elementes ist der Gehalt an demselben, auch wenn er quantitativ von dem Gehalte an Kali in allen Stallmistsorten noch überragt wird, das wichtigste Element für die Schätzung des Mistes. Dazu kommt, dass auch hierbei ebenso wie bei der Ausspülung gerade der Anteil, der als leichtest disponibler Nährstoff anwesend ist, am leichtesten der Verdunstung unterliegt. Auch in Bezug auf diesen Gegenstand ist die Überdachung oder wenigstens Umpflanzung der Düngerstätte in erster Linie anzuraten, weil durch die Abhaltung des Sonnenscheins die Austrocknung des Mistes, die natürlich der Verflüchtigung in die Hand wirken muss, beschränkt wird, während die Wirkung des in dieser Beziehung nützlichen Regens leicht durch die Thätigkeit der Jauchepumpe oder durch die wiederholte Mischung des festen Mistes mit dem flüssigen, wie z. B. durch das Feststampfen desselben durch die Tiere selber ersetzt werden kann. Etwas Derartiges wird erreicht durch jene Stalleinrichtungen, bei welchen (wie in der holländischen Provinz Zeeland) die Tiere auf einer breiten und flachen Düngerstätte Gelegenheit haben, sich periodisch auf derselben zu tummeln, oder wo der Mist wie in den sogenannten Tiefställen (potstal holl.) monatelang liegen bleibt und sich nach und nach bis zu einer bedeutenden Höhe anhäuft.

Aber ausserdem muss an dieser Stelle von den spezifischen chemischen Hilfsmitteln zur Düngerkonservierung die Rede sein, da wie gesagt sich hierin die agrikulturchemische Forschung mit Erfolg bethätigt hat.

Ausser den Streumaterialien giebt es nämlich noch eine Reihe von anderen Substanzen, welche unter Umständen den tierischen Exkrementen beigemischt werden in der Absicht, wie dies auch für jene unter anderem gilt, zur Konservierung der

düngenden Bestandteile beizutragen. Die Beimischung solcher Substanzen zum Mist, wenn sie schon im Stalle geschieht, hat den doppelten Zweck, einmal wertvolle Bestandteile dem Dünger zu erhalten und gleichzeitig für das Wohlbefinden der Tiere, deren Gesundheit durch die ammoniakalischen Dünste leidet, zu sorgen.

Da die in Rede stehende Maassregel nicht durch die Praxis auf dem empirischen Wege aufgefunden, sondern zuerst von seiten der Theorie empfohlen worden ist, so ist eine Reihe von Stoffen in Vorschlag gebracht worden, deren Wirksamkeit wir theoretisch und praktisch gegeneinander abwägen müssen.

Mineralst Säuren wie *Schwefelsäure* und *Salzsäure* sind mehrfach zum Festhalten des Ammoniaks in dem sich zersetzenden Mist vorgeschlagen worden, haben aber trotz ihrer unverkennbaren Leistungsfähigkeit in dieser Richtung aus ziemlich naheliegenden Gründen (Gefährlichkeit im Gebrauch, Korrodieren der Wände der Jauchenbehälter) keine allgemeinere Anwendung gefunden*).

Sehr vielfach hat sich indessen der *Gips*, welcher sich, mit geringeren Mengen kohlen-sauren Ammoniaks in Berührung, mit diesem zu kohlen-saurem Kalk und schwefel-saurem Ammoniak umsetzt**), Eingang verschafft. Versuche von Grouven***), mit Schaf- und Pferdemit angestellt, lehrten u. a. in der That, dass das Bestreuen mit Gips den vorausgesehenen Erfolg hat†), wenn er nur feinkörnig††) genug war und die Berührung zwischen Gips und Mist eine Zeit lang gedauert hatte. Doch sind auch Fälle von Unwirksamkeit bekannt geworden, die dem Umstande zugeschrieben werden, dass Gips die Zersetzung des Dinges beeinträchtigt, infolge wovon man wohl einen reicheren, aber nicht immer einen rasch wirkenden Dünger erzielt. Auch ist an dieser Stelle darauf aufmerksam zu machen, dass zwischen Gips und kohlen-saurem Ammoniak nicht immer die erwartete Zersetzung zu stande kommt; denn man kennt andererseits Umstände, durch welche die umgekehrte Einwirkung, nämlich eine solche zwischen schwefel-saurem Ammoniak und kohlen-saurem Kalke zu stande kommt, infolge wovon kohlen-saures Ammoniak unter Umständen flüchtig wird.

*) Es wurde u. a. empfohlen, die Jauche mit Schwefelsäure zu versehen und dann auf Torf-müll zu pumpen (Centralbl. f. Agrikulturchemie, 1893, p. 422).

**) Auch auf Ammoniakgas selber wirkt etwas entwässerter Gips absorbierend, wie Jenkins (J. f. pr. Chem., N. F., B. 13, 1876, p. 239) nachgewiesen hat.

***) Vergl. Wilda's Landw. Centralbl., 1861, p. 283.

†) Hinsichtlich der weit höheren Düngebefähigung des gegipsten Schaf-dungs vergl. die Versuche Christiani's bei Heiden: Dünge-lehre, II, p. 92. Vielleicht kommt hier auch die von König u. Kiesow nachgewiesene Thatsache in Betracht, dass Gips das Freiwerden von ungebundenem Stickstoff aus faulenden Substanzen verhindert (Landw. Jahrb., II, 1873, p. 107). Auch der Oxydation von Ammoniak in Salpetersäure, die übrigens erst in der Ackererde grössere Dimensionen annimmt, ist der Gips günstig und zwar durch Mässigung der alkalischen Reaktion (vergl. Warington: Experiments Rothamsted, 1885). Hierbei ist auch zu denken an die nitratersetzenden Bakterien, die freien Stickstoff abspalten, die nicht bloss in der Ackererde vorkommen (Aberson u. Giltay), sondern kürzlich von Wagner im Mist angetroffen worden sind. Vergl. Landw. Presse, 1895, p. 123.

††) Bei vergleichenden Konservierungsversuchen mit mehr oder minder feinkörnigem Gips hat sich die grosse Wichtigkeit dieses Gesichtspunkts ergeben und ist dieses Verhalten ja auch leicht verständlich.

Um ein richtiges Urteil zu gewinnen, wann wir das eine und wann wir das andere erwarten dürfen, haben wir uns der Erwägungen zu erinnern, die z. B. schon vor mehr als 80 Jahren von dem Chemiker Berthollet angestellt worden sind. Bei der Anwesenheit von zwei Salzen in einer Flüssigkeit entscheidet für die Neugruppierung der Säuren und Basen nur dann allein die spezifische Affinität zwischen zwei der in Betracht kommenden Körper, wenn diese ungewöhnlich ausgesprochen in der einen möglichen Richtung des Umsatzes liegen. Im allgemeinen werden zu Anfang die vier möglichen Salze entstehen und die weitere Umsetzung in einer bestimmten Richtung fortschreiten infolge äusserer Umstände, wodurch eines oder das andere der neu entstandenen Salze von der Wettbewerbung ausscheidet, und zwar dadurch, dass es seine Aggregatform ändert und fest oder flüchtig wird. Das kohlen saure Ammoniak ist nun bei dem vor uns liegenden Falle der flüchtige Körper, und daraus folgt, dass alle Umstände, die dessen Flüchtigkeit begünstigen, also z. B. hohe Temperatur und Geringfügigkeit der Menge des Lösungswassers, die Entstehung dieser flüchtigen Verbindung befördern, also der konservierenden Eigenschaft des Gipses Eintrag thun*), während bei niedriger Temperatur und viel Wasser die Entstehung des unlöslichen Salzes, kohlen saurer Kalk, den Ausschlag giebt und dabei das Ammoniak sehr vollständig als Sulfat fixiert wird. Wir sehen hieraus, dass wir auch bei Anwesenheit von Gips ein Austrocknen des Mistes in der Sonne vermeiden müssen**).

Als zweckmässige Menge wird angegeben — theoretisch ist jedenfalls mehr nötig als die dem zu konservierenden Ammoniak äquivalente Menge — $\frac{1}{6}$ kg Gips täglich per Stück Grossvieh und man thut am besten, diese Menge in den Stallungen selber auszustreuen, so dass die Wirkung alsbald beginnt. Manche Praktiker empfehlen noch die gleiche oder selbst noch eine grössere Menge***) auf den Mist zu streuen. Ausser dem gewöhnlichen Gipse kommt für den vorliegenden Zweck namentlich der sogenannte Superphosphatgips, ein Abfallstoff der Doppelsuperphosphatbereitung, welcher noch einige Prozente Phosphorsäure enthält, sehr in Betracht. Nach Versuchen von Immendorff†) erhöht die Anwesenheit von Monocalciumphosphat sehr die Bindung des Ammoniaks. — In neuerer Zeit empfiehlt man auch wohl statt des Gipses die schwefelsaure Kalimagnesia und unter den rohen Stassfurter Salzen den Krugit, welche denselben Erfolg haben sollen und sich besonders da empfehlen sollen, wo man gleichzeitig eine Kalidüngung verabreichen will.

*) In der That entwickelt Pulver von kohlen saurem Kalke, mit einer Lösung von schwefel saurem Ammoniak gekocht oder nur gerieben, ammoniakalische Dämpfe. Ja, man kann auf diese Weise NH_3 quantitativ bestimmen.

**) Ein anderer neuerdings erörterter, die nützliche Wirkung beeinträchtigender Fall ist der, dass durch Reduktion des infolge des Gipsens entstandenen Ammoniaksulfats durch die Einwirkung von reduzierenden organischen Stoffen Schwefelammonium, also wieder ein flüchtiger Körper entstehen soll, und werden besonders in warmen Ställen und in solchen, wo der Mist längere Zeit unter den Tieren liegen bleibt und festgetreten wird, Verluste auf diese Weise gefürchtet (vergl. Crispo: Laborat. agricole à Gand, Rapport 1884). Doch gründet sich diese Meinung vorerst mehr auf Laboratoriumsversuche in Flaschen als auf Beobachtungen unter praktischen Verhältnissen.

***) Siehe Holdefleiss: Untersuchungen über den Stallmist, 1889.

†) Journ. f. Landw., 1893, p. 42.

Dieser Punkt verdient indessen noch eine nähere theoretische Auseinandersetzung. Als Hauptbestandteile der Stassfurter Salze werden wir bald Kali- und Magnesiumsulfat und Chlorid erkennen. Ob Sulfat oder Chlorid, wird für den fraglichen Zweck ziemlich gleichgültig sein, da Schwefelsäure sowohl wie Salzsäure mit Ammoniak nichtflüchtige Salze bilden, und für Calciumsulfat haben wir soeben die Notwendigkeit einer nützlichen Wirkung eingesehen. Aber die Umsetzung beruhte in diesem Falle auf der Entstehung von unlöslichem Karbonat.

Ganz anders liegen die Verhältnisse beim Kaliumsulfat, da hier das möglicherweise entstehende Karbonat sehr leicht löslich ist. Wohl ist auch hier nicht daran zu zweifeln, dass die Umsetzung teilweise erfolgt, d. h. dass in einer Mischung von Lösungen von Ammoniumkarbonat und Kaliumsulfat nach einiger Zeit neben einer verminderten Menge dieser Salze auch eine gewisse Menge von Ammonsulfat und Kaliumkarbonat anwesend sein wird. Aber da es an einer weiteren Veranlassung zur Vollendung der chemischen Umsetzung fehlt, so wird nach einiger Zeit ein chemisches Gleichgewicht bei gleichzeitigem Bestehen von allen vier Salzen in bestimmten für unseren Zweck nicht einmal sehr wichtigen Verhältnissen erreicht sein, und was entscheidend ist, kohlen-saures Ammoniak bleibt vorhanden, selbst wenn man ein Übermaass von Kaliumsulfat gebraucht haben sollte. Dies kohlen-saure Ammoniak behält natürlich seine Flüchtigkeit, ebenso als wenn kein schwefelsaures Kali daneben vorhanden wäre. Nachdem nun etwas von diesem flüchtigen Salze verdampft ist, wird durch das Verschwinden desselben das chemische Gleichgewicht gestört sein, und jenes wird sich theilweise aus dem vorher gebildeten Kaliumkarbonat und schwefelsaurem Ammoniak zurückbilden.

Mit anderen Worten, die Verflüchtigung von Ammoniumkarbonat hat den umgekehrten Einfluss auf die Vollendung der wünschenswerten Reaktion als das Niederschlagen des Karbonats einer freien Base. Die bereits eingeleitete Reaktion geht wieder zurück, und das kohlen-saure Ammoniak verdampft aus der Lösung (in welcher schliesslich nur noch das zugefügte Sulfat vorhanden sein wird); der Prozess verläuft mithin gerade als ob dieses gar nicht zugesetzt worden wäre. — Nein, nicht als ob dieses nicht zugefügt worden wäre, denn offenbar ist ja durch das zeitweise Bestehen von Ammonsulfat die Menge von anwesendem flüchtigem Ammonsalz zeitweise eingeschränkt gewesen und damit dessen Tension vermindert, und zwar in dem Maasse, als die natürlichen chemischen Kräfte der Entstehung jener Verbindung Vorschub geleistet hatten; und wenn man viel Kalisalz zugesetzt hatte, so war die konservierende Wirkung auch grösser. Vollständig kann dieselbe aber mit praktisch anwendbaren Salz-mengen niemals werden; denn die Reaktion kann sich nie vollenden und das übrigbleibende Ammonkarbonat giebt durch seine Verflüchtigung selber den Anstoss zu einer rückläufigen Umsetzung, aus welcher nach und nach mehr und mehr flüchtiges Salz resultiert.

Wenn somit das schwefelsaure Kali als ein nur im Übermaasse wirksames und auch dann noch unvollständiges Konservierungsmittel bezeichnet werden muss, so scheint dieselbe Schlussfolgerung auch zutreffend zu sein für Magnesiumsulfat, da auch bei der Einwirkung von diesem Salze auf kohlen-saures Ammoniak in den der Natur der Jauche entsprechenden Verdünnungsgraden auch nach Tagen keine unlösliche

Abscheidung erfolgt. Das Ausbleiben eines Niederschlages muss freilich in diesem Falle nicht wie beim Kali zugeschrieben werden der grossen Löslichkeit des entstehenden Karbonats, sondern der bekannten Eigenschaft der Magnesia, mit Ammoniak gern lösliche Doppelsalze zu erzeugen. Dieser Unterschied ist aber für uns ohne grosses Gewicht, da, solange weder Abscheidung noch vollständige spontane Umsetzung, worauf natürlich in diesem Falle ebensowenig zu rechnen ist, erfolgt, allorts in der Flüssigkeit Gelegenheit zur rückläufigen Reaktion gegeben ist.

Der Anstoss zu dieser rückläufigen Reaktion wird wieder gegeben werden durch Verflüchtigung von etwas kohlensaurem Ammoniak. Kurz, wir kommen auf dem Wege der Herleitung aus bereits Bekanntem auch für die schwefelsaure Magnesia zu dem Resultate, dass sie, auch im Übermaass gebraucht, nur unvollständig auf das Ammoniak der Jauche konservierend wirken wird. — Direkte Versuche über den gleichen Gegenstand, angestellt mit verdünnten Lösungen von kohlensaurem Ammoniak, lehrten das Gleiche, was hier gefolgert wurde.

Trotz dieser nicht sehr günstigen theoretischen Beurteilung fehlt es für die Stassfurter Salze keineswegs an praktischen Beweisen für die Stickstoffkonservierung im Stallmiste. Und dies gilt nicht allein für den Krugit, ein Stassfurter Salz, das sich durch seinen Gehalt an Calciumsulfat an den eigentlichen Gips anschliesst, sondern ebenso für den Kainit, der, wie wir später sehen werden, auch im rohen Zustande ausschliesslich aus Sulfaten und Chloriden von Alkalimetallen und Magnesium besteht. Namentlich sind wieder in dieser Richtung die ganz vortrefflichen, die älteren Versuche an Umsicht der Führung und Exaktheit weit überragenden Untersuchungen von Holdelfleiss*) zu erwähnen, die kurz beweisen, dass eine vollständige Stickstoffkonservierung gelingt durch Überdecken des Stallmistes mit Erde, durch Beimischung von Gips und endlich durch Beimischung von Kainit, welche letztere Beimengung übrigens wegen der Gefahren dieses Salzes für die Tiere besser erst auf der Düngerstätte vorgenommen wird. Vermutlich ist die vollständige Wirkung der Stassfurter Salze zu erklären aus ihrer durch die gleiche Untersuchung nachgewiesenen, die natürliche Gärung des Mistes schädigenden Wirkung, infolgedessen bei Kalisalmist überhaupt weniger Ammoniak gebildet wird, während die Erde natürlich auch dem oberflächlichen Austrocknen entgegenwirken und zugleich durch ihre Absorptionseigenschaften nützlich wirken musste.

Das schwefelsaure Eisenoxydul, der sog. Eisenvitriol, der zur Desinfektion menschlicher Exkremente mit Vorteil angewendet wird, scheint sich zur Einstreu in den Stallungen trotz seiner theoretisch einleuchtenden wie praktisch erwiesenen noch entschiedeneren Wirkung — wohl wegen des zu hohen Preises — nicht zu empfehlen**).

Alle diese Mittel, die grossenteils durch Bindung des bei der Zersetzung des Mistes freiwerdenden Ammoniaks gleichzeitig konservierend und die Stallluft reinigend wirken, haben natürlich nur eine Bedeutung, wenn eine Einstreu gewählt wurde, die nicht schon selbst in dieser Richtung wirkt. Wir haben erwähnt, dass die Erdstreu und die Torfstreu durch das ihnen eigentümliche Absorptionsvermögen schon selbst

*) A. a. O.

**) Über günstige Wirkungen des FeSO_4 vergl. Chem. Ber., 1886, p. 256.

das Festhalten des Ammoniaks in genügender Weise besorgen, und in diesem Falle, sowie auch bei einer aus Stroh und Erde gemischten Einstreu wird die Verwendung von Gips oder ähnlich wirkenden Stoffen in dieser Richtung keinen weiteren Vorteil gewähren.

Wenn im Vorhergehenden die Konservierung des Mistes hauptsächlich aus dem Gesichtspunkte der Erhaltung des Ammoniaks beurteilt wurde, so darf endlich an dieser Stelle nicht verschwiegen werden, dass dies nicht der einzige Gesichtspunkt ist, wie sich am deutlichsten ergibt aus dem Studium der schon mehrfach erwähnten vortrefflichen Untersuchungen von Holdefleiss. Auch die Salpeterbildung kommt namentlich für die Erzeugung eines rasch wirkenden, die Erhaltung der organischen Substanz für die Erzeugung eines stark humusbildenden, für sog. warme thätige Böden erwünschten Düngers sehr in Betracht. Die erstere nun wird namentlich durch die Einstreu von Gips*), weniger durch Kalisalz begünstigt, natürlich auch durch Erde. Die Erhaltung der organischen Substanz ist dagegen, wie gesagt, am grössten bei Kalisalz**), welches überhaupt im eigentlichen Sinne des Worts namentlich die strohartigen Bestandteile des Mistes in ihrer ursprünglichen Beschaffenheit konserviert.

Vierte Vorlesung.

Der Stalldünger (Schluss). Gebrauch desselben und der Jauche. — Das Nährstoffdefizit bei dessen ausschliesslicher Verwendung.

Nachdem wir früher die einzelnen Bestandteile des Stallmistes nach ihrer Zusammensetzung und ihren Eigenschaften und in der vorigen Vorlesung dessen Veränderung im Falle einer vollständigeren oder unvollständigeren Konservierung kennen gelernt haben, wollen wir heute einen Blick auf die Natur und das Verhalten dieses natürlichen Düngers als Ganzes werfen. Wir können dabei aber selbstverständlich nicht alle verschiedenen Streumaterialien berücksichtigen, noch von allen möglichen Zusätzen eines Konservierungs- oder Desinfektionsmittels Notiz nehmen, sondern legen einfach diesen Betrachtungen die Annahme der Verwendung des für unsere Verhältnisse gewöhnlichsten Streumaterials, des Getreidestrohs, sowie eine einigermaassen rationelle Behandlung zu Grunde.

Die verschiedenen Mistarten, wie sie von den einzelnen Haussäugetieren gewonnen werden, zeigen natürlich entsprechend der Zusammensetzung der Exkremente dieser Tierarten ziemlich verschiedene Eigenschaften. Weiter wird das Verwesungsstadium des Mistes namentlich für dessen Zusammensetzung und Eigenschaften in Betracht kommen. Es wird also bei der Besprechung des Stallmistes einmal zwischen

*) Vielleicht unter Mitwirkung des bei der Reaktion des Gipses auf das Ammoniumkarbonat sich bildende Calciumkarbonat, dessen Einfluss auf den Nitrifikationsprozess ja bekannt ist.

**) Diese Wirkung ist noch weniger deutlich, steht vielleicht auch in Beziehung zu der grösseren Trockenheit des Kalisalmistes, die ihrerseits vielleicht der stärkeren Erwärmung zuzuschreiben sein wird.

Pferdemist, Rindviehmist etc., anderseits zwischen *frischem Mist, verrottetem Mist* unterschieden werden müssen.

Allein eines noch weiteren Umstandes bleibt hierbei zu gedenken; der Stallmist pflegt nach den vorherrschend üblichen Behandlungsmethoden sich in zwei ungleich geartete Teile zu scheiden, die auch häufig für sich verwendet und mit verschiedenen Namen belegt werden. Der Mist lässt, auf der Düngerstätte liegend, den Überschuss seiner flüssigen Teile los, und in geordneten Wirtschaften wird das Abfließende durch eigene Vorrichtungen (dichte, unterirdische Gruben) sorgsam aufgesammelt; oder aber der Stall ist schon so eingerichtet, dass ein Teil der flüssigen Exkremente nicht von der Streu aufgesogen wird, sondern direkt durch eigens zu diesem Zwecke angelegte Rinnsale zusammenläuft; aber auch in diesem Falle tritt in der Regel noch eine Wechselwirkung der so gesammelten flüssigen Auswurfstoffe mit dem festen Mist ein, indem häufig durch Arbeiten mit der Pfuhlpumpe für eine Anfeuchtung des Mistes durch jene gesorgt wird oder gar die ohne Streu gesammelten festen Exkremente in ihnen aufgerührt werden. Also auch in diesem Falle besteht jener flüssige Teil des Stallmists nicht lediglich aus dem tierischen Harn, sondern aus dem Harn, der längere oder kürzere Zeit die festen Exkremente (die Einstreu ist in dieser Beziehung zu vernachlässigen) ausgelaugt hat, auch wohl auf den nicht überdachten Düngerstätten durch Regen vermehrt worden ist. Da nun in dem auf der Düngerstätte lagernden Mist chemische Prozesse unausgesetzt verlaufen, da ferner ein Gleiches für die in der Flüssigkeit gelösten Stoffe zu sagen ist, so wird sich jener flüssige Teil des Mistes wesentlich von dem ursprünglichen Harn in seiner Zusammensetzung unterscheiden können.

Der noch übrigbleibende feste Teil des Mistes, der nun vermöge seiner Wasserkapazität mit Flüssigkeit imprägniert ist, wird als *Stallmist* im engeren Sinne des Worts, die abgelaufene Flüssigkeit an verschiedenen Orten als *Jauche, Pfuhl, Gülle, Adel (Gier, Aalt holl.)* bezeichnet.

Obgleich also diese Jauche ursprünglich nichts anderes ist als der flüssige Teil der Ausleerungen der landwirtschaftlichen Nutztiere, etwa noch mit Spül- und Regenwasser vermischt, so ist nun nicht ausser acht zu lassen, dass dann bei Durchtränkung der festen Auswurfstoffe und des Streumaterials mit diesen flüssigen Teilen sekundäre Prozesse verlaufen, welche unter anderem auch bis dahin feste Teile verflüssigen und in die nun „Jauche“ genannte Flüssigkeit überführen. Ich erinnere z. B. an die in der vorigen Vorlesung zu andern Demonstrationen benutzten Untersuchungen Völcker's, aus denen hervorgeht, dass unter Umständen die Menge der löslichen organischen Stoffe bedeutend zunimmt, ebenso die Menge des Ammoniaks, das natürlich grösstenteils als in löslichen Salzen vorhanden gedacht werden muss. Die gleiche Thatsache lässt sich ferner auch dadurch leicht zugänglich machen, dass man auf den zwar geringen, aber ganz regelmässigen Phosphorsäuregehalt der Jauche hinweist, während wir gelernt haben, dass der Harn der den Stallmist produzierenden Tiere entweder ganz oder doch nahezu phosphorsäurefrei ist*).

*) Der phosphorsäurehaltige Schweineharn kommt hier seiner geringen Menge wegen kaum in Betracht.

Nach Untersuchungen von Jauche, ausgeführt von der Versuchsstation zu Wageningen, wovon die Zahlen indessen natürlich ebenso wenig wie eine besondere Analyse des Stallmistes für den einzelnen Fall maassgebend sein können, sind die folgenden Angaben gemacht, neben die ich noch einmal die Zahlen für die Zusammensetzung der einzelnen Harnarten setzen will:

	Mistjauche.	Harn vom		
		Pferd.	Rindvieh.	Schaf.
Wasser	97,4%	90%	93,8%	87,5%
Organ. u. flücht. Subst.	1,6	7	3,2	8
darin Stickstoff	0,16%	1,5%	0,3—0,0%	1,3—2,5%
Aschenbestandteile	1,0	3	3	4,5
darin Phosphorsäure	0,01	0	0	Spuren
Kali	0,5	1,6	1,3	2,1.

Man sieht zunächst, dass man es in der Jauche, wie man sie nach den noch vorherrschenden Betriebsmethoden aus einer unbedeckten Düngerstätte sammelt, in der Regel mit einer beträchtlich verdünnteren Flüssigkeit zu thun hat wie mit dem ursprünglichen Harn; der weit höhere Wassergehalt, die viel geringere Kali- und Gesamtaschenmenge der Jauche legen hierfür ein unzweideutiges Zeugnis ab. Es kommt dies einfach von der Zumischung von Spül- und Regenwasser her, welche übrigens bei Undurchlässigkeit der Lagerstätte gar nicht so sehr als ein Missstand aufgefasst zu werden braucht*).

Um von der Qualitätsveränderung, welche die Flüssigkeit des Mistes bei längerer Berührung mit dessen festen Teilen und durch die atmosphärischen Einflüsse erleidet, eine Vorstellung zu gewinnen, ist die Zusammensetzung der Jauche vorzüglich mit der des Rindviehharns zu vergleichen, und da sehen wir denn, dass die erstere, mit Ausnahme ihres geringen Phosphorsäuregehaltes, etwa wie ein verdünnter Rindviehharn ohne weitere Qualitätsänderung erscheint. Dieselbe ist allerdings gewöhnlich stickstoffärmer, als jener Verdünnung entspricht, und wir müssen annehmen, dass, wenn die Flüssigkeit Ammoniaksalze, welche durch Zersetzung der stickstoffhaltigen organischen Bestandteile des festen Mistes entstanden sind, aus diesem ausgelaugt hat, eine grössere Menge von Ammoniak aus der Jauche sich wieder verflüchtigt hat. — Völcker hat vergleichende Untersuchungen über die Jauche eines frischen Misthaufens und eines gut verrotteten mitgeteilt**), aus denen sich eine ungefähr ebensogrosse

*) Die Verdünnung der flüssigen Bestandteile des Stallmistes durch Regenwasser ist weitaus nicht unter allen Umständen als ein Übelstand anzusehen, wenn nur die Jauchengrube völlig undurchlässig ist. Es ist vielmehr darauf hinzudeuten, dass diese Verdünnung an vielen Orten eigens durch Zuführen von Wasser geschieht (und die allgemeinere Zweckmässigkeit dieses Verhaltens scheitert nur an den dadurch entstehenden Transportkosten), da die verdünnte Pflanzennahrung die zuträglichere ist und dazu einem Verlust an Ammoniak durch die Verdünnung (siehe hierüber die in der vorigen Vorlesung gelegentlich der Besprechung der Gipskonservierung zur Sprache gebrachten Gesichtspunkte) vorgebeugt wird. Die so verdünnte Mistjauche heisst dann wohl im engeren Sinne des Wortes „Gülle“.

**) Journ. of England, V. 18, p. 111; und Heiden: Düngerlehre, II, p. 98.

Verdünnung dieser Flüssigkeit ergibt. Wir wollen einige Zahlen, die aus seinen Angaben berechnet wurden, hier anführen:

	Mistjauche	
	aus frischem,	aus verrottetem Mist.
Wasser	98,06%	98,91%
Organische u. flüchtige Substanz	1,02	0,38
(davon Humussubstanzen)		0,18%
Stickstoff	0,06%	0,06
(davon in Form von Ammoniak)	0,02	0,05
Asche	0,92	0,71
Phosphorsäure	0,05*)	0,01
Kali	0,34	0,23.

Einer strengen Vergleichung sind allerdings die Resultate dieser beiden Analysen nicht fähig, da die Jauchen nicht aus gleichartigen Misthaufen gewonnen waren. Die grössere Verdünnung der Jauche des verrotteten Mistes rührt nur von einer noch grösseren Menge Regenwasser her, welche derselben beigemischt war. Von Interesse ist aber die Anwesenheit einer beträchtlichen Menge von Humussubstanzen in der Jauche des verrotteten Düngers und die verhältnismässig grössere Menge Ammoniaks in dieser selben Flüssigkeit.

An der Station zu Wageningen wurde gefunden bei Jauche derselben Provenienz:

	Jauche	
	ungegoren	gegoren
Stickstoff als Ammoniak und leicht zersetzbare Amide	0,16%	0,13%
Organische und flüchtige Stoffe	1,59	1,22.

In betreff der praktischen Verwendung der einzelnen Mistarten in den verschiedenen Zersetzungsstadien und der Verwendung von Jauche müssen wir uns aus früher erörterten Gründen auf einige Andeutungen beschränken. Wir haben es hier zum grossen Teil mit wirtschaftlich sehr wohl bewährten Maassregeln zu thun, die aber bisher z. T. eine nur empirische Begründung gefunden haben und wegen der Kompliziertheit der dabei ins Spiel kommenden Faktoren einer theoretischen Bearbeitung nur schwierig zugänglich sind.

Die konzentrierten und insbesondere stickstoffreichen tierischen Dünger, wie Schaf- und Pferdemist, werden als *hitzig* bezeichnet. Die landwirtschaftlichen Lehrbücher empfehlen, diese Düngerarten, abgesehen von deren Bedeutung für die intensiven Kulturen (Gärtnerei, Tabaksbau), mehr auf kalten Bodenarten anzuwenden. Umgekehrt werden die mehr wässerigen Ausleerungen des Rindviehs und der Schweine als *kalte* Dungstoffe bezeichnet und mehr für die warmen Böden empfohlen. — Es handelt sich darum, den Sinn dieser praktischen Lehre verstehen zu lernen.

Unter warmen Bodenarten werden nach der Ausdrucksweise der Landwirte vorzüglich die trockenen Böden verstanden, und wir haben in unseren Betrachtungen über die physikalischen Eigenschaften der Ackererden ja thatsächlich gelernt, dass

*) Die verhältnismässig grosse Menge Phosphorsäure in dieser Jauche ist z. T. der Zuzusammensetzung von Schweinedung zuzuschreiben.

es in erster Linie ein hoher Wassergehalt ist, der die Temperatur des Bodens heruntersdrückt. Daraus geht hervor, dass es die sehr porösen, leichten, ganz vorzüglich die Sandböden sein müssen, die in der Praxis das Epitheton „warm“ empfangen. Unter kalten Bodenarten werden durchaus entsprechend die bindigen Böden von grosser wasserhaltender Kraft, also namentlich die schweren Thonböden verstanden.

Man wäre nun wohl geneigt, entsprechend diesem verführerischen Sprachgebrauch, die gegebene praktische Lehre so zu deuten, als müssten die kalten Böden durch den hitzigen Zustand erwärmt, die warmen durch den kalten Mist in der Temperatur gemässigt werden, da die hitzigen Mistarten eine raschere Zersetzung erleiden und dabei eine grössere Menge von Wärme produzieren; und es ist wohl kein Zweifel daran, dass der gemeine Verstand sich die Sache ungefähr in dieser Weise zu recht legt*).

Allein der Sache strenger ins Auge gesehen, haben wir es hier mit einem jener vielen rein praktischen Lehrsätze zu thun, die man, vielleicht nur um sie besser dem Gedächtnis einzuprägen, auf eine scheinbare Theorie stützt. Wir haben schon früher darauf hingedeutet, dass die Vorstellung von der Wärmeentwicklung im Boden durch Mist oder andere verwesende organische Substanzen eine sehr schlecht begründete ist, dass es sich, abgesehen von Mistbeeten und dgl., bei dieser Verwesung durch längere Perioden hindurch unmöglich um irgendwie erhebliche und dem Pflanzenwuchs zu gute kommende Temperatursteigerungen handeln kann. Die Erklärung der mitgetheilten praktischen Lehre macht sich, seitdem wir Kenntnis von den Absorptionserscheinungen besitzen, in viel einleuchtenderer Weise und fällt ungefähr mit der Erklärung der schon früher angeführten Regel, auf leichten Böden öfter, aber schwächer, auf schweren Böden seltner, aber stärker zu düngen, zusammen. Der konzentriertere Dünger würde auf dem warmen, leichten Sandboden, der nur ein geringes Absorptionsvermögen besitzt, weit konzentriertere, leicht dem Pflanzenwuchs schädliche Bodenlösungen erzeugen, und es würde so zugleich ein Teil der gegebenen Düngung durch den Regen hinweggeführt werden. Auf dem thonigen Boden ist dergleichen nicht zu befürchten, und man kann diesen Bodenarten ruhig den hitzigeren Dünger einverleiben.

Übrigens ist es nicht meine Absicht, die soeben besprochene Düngungsregel als eine allezeit zweckmässige in jeder Hinsicht zu verteidigen, sondern nur, soweit sie zu Recht besteht, eine theoretische Erläuterung derselben zu geben. Dem mit prak-

*) Übrigens ist ja nicht zu verkennen, dass der verhältnismässig trockene und poröse Pferdemist auch abgesehen von der Konzentration, wie schon früher angedeutet, für sich selber leichter der Oxydation und der damit verbundenen Selbsterhitzung zugänglich ist als der breiige Rindermist, der auch leicht zu einer zähen Masse austrocknet. Daher die Geeignetheit der ersteren zur Anlegung von warmen Mistbeeten und daher die in Rede stehende Benennung. — Über den Nichtparallelismus von Selbsterhitzung mit Umsatz von organischer Substanz hat Holdeffleiss (a. i. d. vor. Vorles. a. O.) merkwürdige Beobachtungen gemacht, die nicht anders zu erklären sind, als dass bei Zusatz von Konservierungssalzen wenige organische Stoffe sehr vollständig, bei Fehlen derselben viel organische Stoffe unter Abspaltung sauerstoffarmer Spaltungsprodukte (vielleicht Humusstoffe) zersetzt werden. Daher im ersteren Falle stärkere Erhitzung bei geringerem Verschwinden von Organischem.

tischen Verhältnissen Vertrauten kann ja nicht entgehen, dass einerseits dem Landwirte in den meisten Fällen gar keine Wahl gelassen ist, da er eben seinen Dünger, ist derselbe nun warm oder kalt, auch auf *seinem* Boden, sei derselbe nun warm oder kalt, verwenden muss. Ausserdem giebt es einzelne Kulturpflanzen, die, wie der Tabak, eine ausserordentlich kräftige, aber nicht allzu voluminöse Düngung verlangen und aus diesem Grunde vorteilhaft mit Schafmist gedüngt werden, gleichgültig ob der Boden von hohem oder geringem Absorptionsvermögen ist.

Es sind dann weiter die praktischen Lehren zu besprechen, welche sich in betreff der Verwendung frischen oder verrotteten Mistes in den Lehrbüchern der Landwirtschaft finden. Wir treffen dort auf die Regel, dass der frische Mist, welcher noch keine Zersetzung erlitten habe, auf einem trockenen Sandboden, wenigstens in den trockenen Sommermonaten niemals angewendet werden dürfe, sondern nur verrotteter Mist, während der frische für nasse und schwere Thonböden den Vorzug verdiene und dort zu allen Jahreszeiten angewendet werden dürfe. Diese Regel ist offenbar nicht auf den oben geltend gemachten Gesichtspunkt der ungleichartigen Absorptionsfähigkeit zurückzuführen, sondern einfach auf den Umstand, dass der lockere Boden einmal keiner weiteren Lockerung durch den frischen, noch unzersetzte Strohelemente enthaltenden sogenannten „langen“ Mist bedarf, und dass in ihm in der trocknen Jahreszeit ein Moment der Verwesung, die Feuchtigkeit, fehlt und somit die schwer verweslichen holzigen Teile ohne grossen Nutzen im Boden sind. Es wird in diesem Falle mit Recht auf den schnelleren Umsatz des Düngerkapitals hingedeutet, der natürlich in allen den Fällen, wo die physikalische Wirkung des frischen Mistes entbehrlich ist, als ein wirtschaftlicher Vorteil erscheint. In kalten Gegenden, wo es sich darum handelt, durch rasch assimilierbare Pflanzennahrung die Vegetationsperiode abzukürzen, wird auch die Verwendung verrotteten Düngers schlechthin empfohlen.

Andererseits bedarf der schwere thonige Boden der Lockerung aus einer Reihe von Gründen, die aus früher Gesagtem leicht hergeleitet werden können, und darum erscheint hier der lange Mist an seinem Platze. — Hier sind es also wesentlich physikalische Verhältnisse, die diese verschiedenartige Verwendung bedingen. — Es muss allerdings einstweilen dahingestellt bleiben, ob diese Begründung jener praktischen Lehre eine ausreichende ist. — Auf Weiden verwendet man mehr frischen Dünger, weil er lose ist, sich weniger fest legt, den Pflanzen in der rauhen Jahreszeit mehr Schutz gewährt und endlich in diesem Falle das Stroh gelegentlich wieder zusammengereicht werden kann zur erneuten Benutzung.

Als Maassregel von grosser Wichtigkeit, welche mehr der chemischen Forschung als der Praxis zu verdanken ist, kann noch die künstliche Anfeuchtung des lange Zeit unter den Tieren liegenden Schafmistes genannt werden, da sonst die Stickstoffverluste dieses konzentriertesten aller Dünger sehr bedenkliche Dimensionen anzunehmen pflegen. Werden keine besonderen Konservierungsmittel angewendet, so ist Wasser zu dieser Anfeuchtung geeigneter als Jauche, durch welche letztere einer starken Gärung noch in die Hand gearbeitet würde, und diese Beifügung ist um so notwendiger, je weniger Erde, Plaggen oder gar Mull oder Moostorf zur Einstreu verwendet werden.

Holdefleiss*), welcher auch diese Seite der Stallmistfrage studiert hat, empfiehlt, den Mist immer auf wenigstens 65 % Feuchtigkeitsgehalt zu erhalten.

Eine viel umstrittene Frage war weiter früher das Obenaufliessen des gebreiteten Düngers auf dem Ackerlande, aber dieselbe ist unschwer aus theoretischen Gesichtspunkten zu beantworten. Das auf dem Düngerhaufen so sehr zu fürchtende Ausspülen ist natürlich hier unschädlich, weil gerade durch dasselbe die düngenden Stoffe dahin gelangen, wo sie ihre Wirkung ausüben sollen, und ist nur zu Anfang, bevor die Ausspülung genügend vorgeschritten, ein Verlust von Ammoniak durch den Sonnenschein zu fürchten**). Daher die Regel, dass das Obenaufliessen in regnerischer und kalter Jahreszeit unschädlich ist, sich von selbst ergibt. Dass aber, solange nicht untergepflügt ist, die physikalische Bodenverbesserung infolge der Düngung ausbleibt, versteht sich natürlich von selbst. — Das längere Sitzenlassen der Misthaufen auf dem Lande ist natürlich wegen der Ungleichheit der Düngung, welche auf diese Weise erzielt wird, in hohem Grade nachteilig, wie jeder schon aus den in diesem Falle entstehenden regelmässig über das Land verteilten Geilstellen schliessen wird.

Was die übliche Grösse der Stallmistdüngungen angeht, so ist es an dieser Stelle nur nötig, davon Notiz zu nehmen, dass eine gewöhnliche Düngung etwa aus 30 Frachten à 1000 kg besteht. Darin ist nach früher gemachten Angaben also etwa im Mittel 150 kg Stickstoff, halb soviel Phosphorsäure und etwa 200 kg Kali anwesend, wovon aber, namentlich was die beiden ersten Bestandteile betrifft, nur ein Teil in leicht verfügbarer Form. Trotzdem ist schon in einer solchen einfachen Düngung mehr gegeben, als durch die meisten Gewächse jährlich dem Boden entzogen wird, daher dann eine Stallmistdüngung in den meisten Fällen für einige Jahre dienen muss. Eine starke Düngung nennt man etwa die doppelte der oben angegebenen Menge. Eine solche ist der Natur der Sache nach mehr für schwere Böden geeignet, bei welchen ihres grossen Absorptionsvermögens wegen ein Ausspülen der überflüssig gegebenen Bestandteile weniger zu fürchten ist. Die anspruchsvolleren Gewächse werden dann in der für schwere Böden langen Fruchtfolge unmittelbar hinter die frische Düngung gesetzt. Nur in seltenen Fällen wird die Düngung noch grösser, und namentlich der Gartenbau zieht eine häufigere Wiederholung der Düngung dem allzugrossen Mistquantum vor. Beim Tabaksbau in Holland dagegen geht die Düngung in einzelnen Fällen bis zum Fünffachen der schwachen Düngung oder bis zu der kolossalen Masse von 150 000 kg pro Hektar; aber hier handelt es sich um die Ernährung eines zarten Gewächses, welches eigentlich nicht in unser Klima gehört und nur durch ganz besondere Pflege gedeihen kann, und um die Vollendung von dessen Reife in wenig Monaten, während die Preise des Produktes bei guter Qualität so hohe sind, dass sie auch die grössten Düngerkosten bezahlt machen.

Weiter müssen für die Anwendung der Jauche einige Anhaltspunkte gegeben werden. Alle praktischen Regeln, welche in Bezug auf die Verwendung dieses flüssigen Düngers gegeben werden, lassen sich auf die rasche, aber wenig anhaltende

*) A. a. O. p. 205.

**) Vergl. E. Wollny: Forsch. a. d. Geb. d. Agrik.-Phys., 1889, p. 55. Auch die Absorption des Ammoniaks im angrenzenden Boden kommt natürlich in Betracht.

Wirkung desselben zurückführen. Wo es sich darum handelt, einer schwächlichen Saat rasch aufzuhelfen, eine sehr nährstoffbedürftige Pflanze wie z. B. die Runkeln, den Kohl, den Mais zur Zeit seiner intensivsten Vegetation zu einem Maximum der Produktion zu bringen, da wird die Verwendung der Jauche empfohlen; aber eine länger andauernde Wirkung für die nachfolgende Frucht, oder auch nur für den zweiten Schnitt eines und desselben Futtergewächses wird von diesem Düngemittel nicht erwartet. Diese praktische Erfahrung steht durchaus im Einklang mit den theoretischen Anschauungen, die wir von der Düngbefähigung der Jauche hegen müssen. Alle in derselben enthaltenen Bestandteile sind gelöst, meistens auch schon in der Form vorhanden, wie sie von der Pflanze aufgenommen werden können; ihr Verbringen in den Boden erhöht direkt die Konzentration der Bodenlösung an wirklichen Nährstoffen, und selbst der Teil der Bestandteile, welcher im Boden Absorption erleidet, ist leicht verfügbar. Es ist demgemäss unthunlich, durch Jauchedüngung eine so grosse Menge von Nährstoffen in den Boden zu bringen, dass für sehr lange Perioden eine Nachwirkung stattfinden könnte, denn bei einem solchen Unternehmen würden einerseits die Konzentrationen der Bodenlösungen viel zu hohe werden und so der Vegetation ein direkter Schaden entstehen, andererseits auf diese Weise viel in den Untergrund gespült werden, und so doch bald eine Erschöpfung eintreten. Die erwähnte praktische Erfahrung erscheint uns in jeder Beziehung durchaus selbstverständlich.

Was die Verteilung des festen und des flüssigen Düngers auf die verschiedenen Bodenarten betrifft, so lässt sich angeben, dass die Jauche auf allen Böden Verwendung findet, und dass sich ihre Anwendung weit mehr nach der Pflanze richtet. Nur kann man wieder hinzufügen, dass auf Böden von geringem Absorptionsvermögen, also auf den leichteren Sandböden, geringere Mengen zu verwenden sind, und eher eine öftere Wiederholung der Düngung empfehlenswert erscheint, als auf schweren Thonböden oder humosen Böden von grossem Absorptionsvermögen. Weiter ist darauf aufmerksam zu machen — und wir werden dies später für viele künstlichen Dünger zu wiederholen haben —, dass die Jauche, bei ihrem völligen Mangel an festen organischen Substanzen, jene physikalischen Funktionen, welche die verwesenden Pflanzenreste eines von Menschenhand unberührten Bodens oder der Stallmist auszuüben fähig sind, natürlich nicht zu leisten vermag, und dass sie schon aus diesem Grunde für die meisten Böden, zumal die einer Auflockerung bedürftigen schweren Thonböden, nicht als *alleiniger* Dünger zu verwenden ist.

Dazu kommt dann noch endlich die einseitige chemische Zusammensetzung, welche sich in den Worten wiedergeben lässt: Viel Kali, in zweiter Linie Stickstoff, sehr wenig Phosphorsäure, in Folge wovon eine einseitige Jauchedüngung auch auf physikalisch günstigen Böden eine auf die Dauer unvollständige Pflanzenernährung zur Folge hat. Am besten ist in jeder Hinsicht die Jauchedüngung mit der Salpeterdüngung zu vergleichen, für welche in einer der späteren Vorlesungen Winke gegeben werden sollen.

Ausser den praktischen Regeln über die Verwendung der aus den Exkrementen unserer Haussäugetiere hervorgehenden einzelnen Düngerarten auf verschiedenen Böden sind nun aber natürlich auch solche in Bezug auf einzelne Kulturen in Kürze

anzudeuten. Diese lassen sich indessen nicht mit alleiniger Berücksichtigung jener wenigen Momente, sondern teilweise nur durch spezielles Eingehen auf die Verteilung der einzelnen Nährstoffe in den verschiedenen Düngerarten, teilweise wegen Kompliziertheit der einschlägigen Verhältnisse auch noch gar nicht aus theoretischen Gesichtspunkten verstehen.

In den hierher gehörigen Düngerarten sind ausser den mehr physikalisch wirkenden Substanzen im wesentlichen drei wichtige Pflanzennährstoffe enthalten, die für derartige Betrachtungen berücksichtigt werden müssen: die *Stickstoffverbindungen*, die *Phosphorsäure* und das *Kali*. Es ist nun allerdings richtig, dass in dem Mist der verschiedenen Tierklassen, wenn derselbe noch nicht durch sekundäre Eingriffe in seiner Zusammensetzung geändert ist, entsprechend ihrer immerhin doch ziemlich gleichartigen Ernährung diese einzelnen Bestandteile in nicht allzu verschiedenen Verhältnissen enthalten sind, und dem entsprechend hat sich auch kein ausgesprochener Usus der Verwendung des Mistes dieser oder jener Tierart zu ganz bestimmten Gewächsen in erwährungswertem Maassstab ausgebildet. Allein bei der Trennung des Mistes einer und derselben Tierart in zwei heterogene Bestandteile von sehr verschiedenartiger Zusammensetzung und namentlich verschiedenartiger Verteilung jener drei wichtigsten Bestandteile in festen Mist und Jauche tritt sogleich die verschiedene Verwertbarkeit dieser Düngestoffe für einzelne Kulturen hervor.

Wir haben früher gesehen, dass der Dünger hauptsächlich deshalb nützlich auf den Pflanzenwuchs wirkt, weil durch ihn dem Boden Bestandteile wiedergegeben werden, welche nach dem natürlichen Lauf der Dinge niemals demselben entrissen worden wären, und von diesem Standpunkte aus sollte man im einzelnen realen Falle vorzüglich solche Düngestoffe für zuträglich halten, die in ihrer Zusammensetzung möglichst der letztentnommenen Ernte ähneln. In der That wurde dieser Standpunkt von manchen eingenommen. — Allein es ist kein langes Nachdenken dazu erforderlich, um zu erkennen, dass derselbe ein einseitiger ist. Verschiedene Bodenarten sind sehr verschieden zusammengesetzt und für einzelne Kulturen in sehr verschiedenem Grade geeignet. Dabei ist der von Menschenhand unberührte Boden durchaus nicht durchweg zur höchsten Produktion befähigt. Wir kommen hier wieder auf den eingangs dieses Abschnittes betonten Satz zurück, dass eine Düngung nicht den einzigen Zweck der Leistung eines Wiederersatzes hat, sondern dass man sie vornimmt, um irgend welche Ernährungsbedingungen der Pflanzen in einem günstigeren Verhältnisse darzubieten, und dass nur bei der Leistung des Ersatzes die Wahrscheinlichkeit im allgemeinen am grössten ist, dieses Verhältnis günstig zu gestalten. Es kann also in dieser Allgemeinheit nicht gesagt werden, dass, wenn z. B. die Jauche eine ähnliche Zusammensetzung hat, wie eine entnommene Ernte, d. h. wenn das Verhältnis von Kali, Phosphorsäure und Stickstoff in beiden annähernd dasselbe ist, irgend eine besondere Aussicht dafür vorhanden ist, dass die Düngung mit der entsprechenden Menge Jauche für diese Kultur die möglichst zweckmässige sei. Ebenso verkehrt würde es sein, lediglich Rücksicht zu nehmen auf die Zusammensetzung der kommenden Ernte oder der einem bestimmten Fruchtwechsel angehörigen Reihe von Ernten und die Meinung zu hegen, dass, wenn man die zu gebende Düngung möglichst genau in Menge und Gehalt nach dieser gehofften Ernte richtet, die Aussicht auf die Wirk-

samkeit der Düngung eine möglichst grosse sei. Ein kurzer Hinweis auf die in Hinsicht auf das Bedürfnis der Pflanzen *zufällige* Zusammensetzung des Bodens und namentlich auf unsere naturwissenschaftliche Kenntnis von den Gesetzen der Stoffaufnahme wird genügend sein, um dies deutlich zu machen. Wir wissen ja, dass es ganz von der vorausgehenden Zusammensetzung des Bodens abhängig ist, die doch zu dem Bedürfnis der nun erfolgenden Kultur in gar keiner Beziehung steht, ob die Zufuhr jedes einzelnen Nährstoffs der zu bauenden Gewächse notwendig oder nützlich ist.

Sodann haben wir uns zu erinnern, dass nicht alles in zugänglicher Form im Boden Vorhandene von der Pflanze in einer Kulturperiode aufgenommen werden kann, sondern dass es dabei auf die Wurzelverzweigung, die osmotischen Eigenschaften der Wurzelzellen u. s. w. — dass es mit einem Worte auf die nicht in Zahlen ausdrückbare *spezifische Organisation* eines Gewächses ankommt, ob ihm der im Boden vorhandene Vorrat zum üppigen Wachstum genügt, dass der *erforderliche Vorrat* also *in keinem einfachen Verhältnis steht zu dem wirklich in die Zusammensetzung des Organismus Eingehenden*. Das heisst der hervorragende Kali- oder Stickstoffgehalt eines Gewächses ist durchaus kein untrüglicher Beleg dafür, dass dasselbe nun auch eine sehr grosse Menge von Kali resp. Stickstoff im Boden voraussetzt. Als bekannteste Belege sind hier anzuführen nicht nur das geringe Stickstoffbedürfnis des stickstoffreichen Klees — da dieses eine besondere Ursache hat —, sondern auch das geringe Phosphorbedürfnis der keineswegs phosphorarmen Lupinen, das verhältnismässig geringe Kalibedürfnis der kalireichen Rüben oder das geringe Kalkbedürfnis des kalkreichen Tabaks.

Daraus geht nun aber in unzweideutiger Weise hervor, dass sich eine Düngung in ihrer Menge und Zusammensetzung unmöglich richten kann nach dem sogenannten „Bedarf“ der Gewächse, wie man ihn durch die Analyse der gemachten Ernte ermittelt*), sondern dass, abgesehen von den spezifischen Eigenschaften des Bodens, viel kompliziertere Umstände zu berücksichtigen sind, um eine möglichst zweckmässige Zufuhr der einzelnen düngenden Bestandteile zu ermöglichen, und da alle diese vielseitigen Verhältnisse noch nicht genügend naturwissenschaftlich studiert, auch in ihren unübersehbaren Wechselbeziehungen kaum einer exakten Behandlung fähig sind, so kann in Bezug auf die Wahl der Düngung einstweilen nur die *praktische Erfahrung* endgültig entscheiden, während es der Theorie nur vorbehalten bleibt, Anhaltspunkte zu geben, die allerdings jene sehr wesentlich erleichtern, weil sie für anzustellende Versuche als Orientierungspunkte dienen.

An dieser Stelle machen wir die Anwendung von diesen Auseinandersetzungen, dass die getrennte Verwendung von Jauche und festem Stallmist bei einzelnen Kulturen sich unmöglich richten kann nach der übereinstimmenden Zusammensetzung dieser Düngerarten und der zu machenden Ernte, sondern nach den spezifischen Bedürf-

*) D. h. unter anderem, dass der von Liebig ausgesprochene Satz (Die Chemie etc., 1862, I, p. 244): „Die festen und flüssigen Exkremente eines Tieres haben als Dünger für diejenigen Gewächse den höchsten Wert, welche dem Tiere zur Nahrung gedient haben“, unmöglich genau richtig sein kann.

nissen der angebauten Gewächse, die eben bis jetzt allein durch die praktische Erfahrung festgestellt werden konnten.

Diese praktische Erfahrung lehrt nun, dass die Mistjauche besonders für Futterpflanzen, d. h. also auf Wiesen und ebenso für Grünmais, auch Runkeln und andere Futterrüben, ebenso für Gemüse, von grosser Wirksamkeit ist, während sie sich wie alle spezifische Stickstoffdüngung für den Anbau von Leguminosen und samen tragenden Gewächsen weniger bewährt hat. Diese Regel beruht nur zum kleinen Teil darauf, dass, um keine zu konzentrierten Nährstofflösungen im Boden und Verluste durch Auswaschung zu veranlassen, die Düngung mit flüssiger Jauche in nicht zu grossen Mengen und darum wo möglich mehrmals in einer einzigen Vegetationsperiode gegeben werden muss, ein Verfahren, das auf einem mit reifenden Früchten bestandenen Felde aus einer Reihe von Gründen nicht eingeschlagen werden kann, bei Futtergewächsen dagegen nach einem entnommenen Schnitte sich ganz vortrefflich macht. Im ersten Frühjahr werden dementsprechend auch wohl Halmfrüchte durch Kopfdüngung mit Jauche zu stärkerem Wachstum angeregt.

Hauptsächlich spielt auch hier der wirkliche Bedarf an Nährstoffen eine hervorragende Rolle. Die Mistjauche ist, wie gesagt, ein kalireicher und ganz besonders phosphorsäurearmer Dünger; alle körnertragenden Früchte bedürfen dagegen zur Entwicklung ihrer Samen, oder besser gesagt zur Produktion der eigentlichen Eiweissstoffe einer reichen und rechtzeitigen Stickstoff- und Phosphorsäureernährung, während die Futterpflanzen verhältnismässig grosse Mengen von Kali in sich aufnehmen und durch den Stickstoff, da dieser unter den anwesenden Nährstoffen gewöhnlich im Minimum vorhanden ist, zur Massenproduktion angeregt werden; während bei den samen tragenden Gewächsen diese Massenproduktion gar wohl mit dem Fehlschlagen des eigentlichen Zwecks der betreffenden Kultur endigen könnte*). Für den Anbau auch der nicht samen tragenden Leguminosen kommt aber noch hinzu der früher im theoretischen Teile dieser Vorlesungen ausführlich erörterte Gesichtspunkt, dass diese Gewächse grossenteils selbst für ihren Stickstoff zu sorgen vermögen. Aus demselben Gesichtspunkte erscheint Jauche auch dann auf Grasland als eine Verschwendung, wenn sie auf Bauland mit Vorteil verwendet werden kann, da man auch dort meist für die Anwesenheit von genügenden Mengen von Leguminosen sorgen kann, welche die Notwendigkeit der teuren Stickstoffdüngung ersparen.

Andere Grundsätze, die mit dem hier Gesagten im Zusammenhang stehen, werde ich weiter unten bei Besprechung der noch mehr in ihrer Wirkung spezialisierten Kunstdünger anführen. Dieselben werden auch zu einigen Rückschlüssen in Bezug auf die Verwendbarkeit von Stallmist und Jauche Veranlassung geben können.

Nachdem wir uns durch die vorausgehenden Betrachtungen ein Bild verschafft haben von der Düngebefähigung der aus den Exkrementen unserer landwirtschaftlichen Haustiere hervorgehenden Dürgersorten, wollen wir jetzt denselben Gegenstand von einem allgemeineren Gesichtspunkte aus, den man wohl als den der *Statik* bezeichnen könnte, behandeln. Wir werden auf diese Weise am raschesten zu der Einsicht gelangen, dass unter gewissen, genau zu bezeichnenden Umständen die

*) Vergl. in Bezug hierauf: Landb. kundig Tydschr., 1893, p. 7.

alleinige Verwendung der bis jetzt behandelten Düngerarten, die wir nun in ihrer Gesamtheit kurzweg als *Stallmist* bezeichnen wollen, nicht auf die Dauer im stande ist, die Fruchtbarkeit der Felder zu erhalten, dass die *reine Stallmistwirtschaft* unter jenen Umständen schliesslich zu einem Punkte führen muss, wo es notwendig wird, andere Düngemittel neben jenen Stoffen zu verwenden.

Die Umstände zu ermitteln, für welche dies notwendig zutreffen muss, wird nun unsere Aufgabe sein. Im Grunde sind dieselben schon durch frühere Betrachtungen angedeutet. Als wir von der Möglichkeit sprachen, die Zusammensetzung der Auswurfstoffe der landwirtschaftlichen Nutztiere und so mittelbar die des frischen Stallmistes aus der Fütterung zu berechnen und die Bedingungen dieser Möglichkeit aufsuchten, da fanden wir, dass dazu notwendig sei, dass die betreffenden Tiere sich auf dem Erhaltungsfutter befänden, und dass keine anderen Stoffe ausser den Exkrementen von diesen Tieren in erheblicher Menge produziert würden. Masttiere, tragende oder milchende Muttertiere, Jungvieh und endlich auch strenggenommen wollproduzierende Schafe mussten bei jener Düngerberechnung einem besonderen Kalkul unterworfen werden, d. h. bei denselben die Menge der im produzierten Fleisch, im Fett, den Knochen, der Milch, der Wolle u. s. w. vorhandenen Bestandteile von den Bestandteilen der verabreichten Fütterung in Abrechnung gebracht werden, um die Mengen des in den Auswurfstoffen enthaltenen Stickstoffs, des Kalis, der Phosphorsäure u. s. w. zu kennen.

Wir brauchen nun zu dem Resultate unserer damaligen Untersuchungen nur noch hinzuzusetzen, dass diejenigen Stoffe, welche dadurch, dass sie nicht dem tierischen Stoffwechsel anheimfallen, jenes Defizit in der Zusammensetzung des Stallmistes erzeugen, also Milch, der Körper des aufgezogenen Jungviehs und der zur Mast aufgestellten Tiere, nach dem natürlichen Lauf der Dinge grossenteils nach aussen verkauft werden und so auch zunächst nicht auf einem Umweg auf die Felder, aus deren Bestandteilen sie gebildet sind, zurückgelangen, während umgekehrt die Futterstoffe gerade in den Wirtschaftssystemen, für welche diese Betrachtungen Geltung haben, auf demselben Landgute gewachsen sind, auf dem sie den Tieren vorgelegt werden.

Aus diesem Sachverhalte sind nun offenbar wichtige Folgerungen für die dauernde Erhaltung der Fruchtbarkeit der Felder solcher Landgüter zu ziehen, wo tierische Produkte nach auswärts verkauft werden, natürlich immer vorausgesetzt, dass nicht von aussen Düngestoffe oder Futterstoffe zugekauft oder auf eine andere Weise erworben werden. Der Stalldünger enthält in diesem Fall, ganz abgesehen von dem unter allen Umständen vorhandenen Defizit an organischer Substanz, ein Minus an Stickstoff und den einzelnen Aschenbestandteilen, das wenigstens genau so gross ist, wie der Gehalt der ausgeführten Produkte an diesen Stoffen, und wenn man diesen Stalldünger auf die Felder zurückbringt, auf welchen die Ernten gewachsen sind, so braucht auf denselben nun zwar nicht von Anfang an eine Minderproduktion stattzufinden, aber auf den ärmeren Bodenarten und nach einer gewissen Dauer eines solchen Betriebes wird dies immerhin der Fall sein, so dass von denjenigen Perioden an, wo der Dünger überhaupt einen wirtschaftlichen Wert erhält, der unter den bezeichneten Umständen produzierte Stallmist einen Minderwert besitzen

wird, gegenüber einem anderen, dem die betreffenden Pflanzennährstoffe nicht entzogen sind.

Diese Folgerungen gelten nicht etwa, wie es uns die einseitige Auffassung der Liebig'schen Schule früher gerne glauben machen wollte, für die Aschenbestandteile allein, sondern anfangs gewöhnlich (mit Ausnahme der modernen Leguminosenwirtschaften) in noch höherem Grade für den Stickstoff, welcher auch in der That bei der Wertbestimmung des Mistes nach den wirtschaftlichen Gesetzen der Nachfrage und des Angebots den höchsten Preis erhält. Nur das ist richtig, dass es allein die Aschenbestandteile sind, welche einem derartigen Betrieb, wenn wir ihn uns sehr lange Zeiten hindurch in derselben Richtung fortgesetzt denken, durch ihr beschränktes Vorhandensein eine endliche Grenze setzen würden, da für dieselben nicht atmosphärische Quellen zur Verfügung stehen.

Wir haben weiter zu berücksichtigen, dass der Landwirt nach dem gewöhnlichen Lauf der Dinge nicht allein Produzent von tierischen Produkten ist und nicht solche allein nach aussen abführt. Derselbe erzeugt in der Regel eine Menge von Pflanzensubstanz, welche nicht zu seiner eigenen Ernährung und nicht zur Fütterung der von ihm gehaltenen Nutztiere verwendet wird, und wenn wir uns daher auch die Auswurfstoffe der Bewohner des Landguts selber dem Stallmiste einverleibt oder auf irgend eine andere Weise auf die Felder zurückgebracht denken, so ist diese Ausfuhr doch neben jenem Defizit im Stallmist eine Quelle des Verlustes an Düngerebestandteilen, welche ihrer Grösse nach genau aus ihrem Gehalte an denselben ermittelt werden kann. *Die Ausfuhr von Korn und Fleisch* — so können wir die zwei Gruppen von verkauften Produkten der Einfachheit wegen bezeichnen — *ist die still und langsam wirkende Ursache der Änderung der Fruchtbarkeitsfaktoren der Felder in einem ganz bestimmten Sinne.*

Einige Betriebsarten giebt es allerdings, bei denen fortwährend organische Substanzen ausgeführt werden und dennoch das eben geschilderte Verhältnis nicht zutrifft. Es sind dies alle diejenigen, wo aus den Pflanzenerzeugnissen auf technischem Wege Produkte dargestellt werden, die wohl noch organische Substanzen sind, aber keine erhebliche Menge von Stickstoff und Aschenbestandteilen mehr in sich enthalten, wo dann diese Produkte nach aussen verkauft werden, der Stickstoff aber und die Aschenbestandteile, welche mit zur Produktion jener gedient haben, auf dem Gute verbleiben und von neuem zu einer ähnlichen Produktion in Anspruch genommen werden können. Dahin gehört vor allem die Ausfuhr von Zucker, Stärke, Branntwein, wenn die Rückstände dieser Fabrikationen, ausgelaugte Rübenschnitzel und Scheideschlamm, Kartoffelpulpe und Branntweinschlempe, in der Wirtschaft selber verwertet werden. Dies ist aber eine Ausnahme, welche die übrigens geltende Regel nur in ein desto helleres Licht stellt.

Würde man, um auf die wirtschaftliche Ursache des Defizits, herrührend aus der Tierproduktion, näher einzugehen, in irgend einer Wirtschaft die landwirtschaftlichen Nutztiere nur der Arbeit wegen halten, wie dies z. B. mit den Pferden thatsächlich der Fall ist, würde man — um das System mit penibler Sorgfalt durchzuführen — gleichzeitig die Tiere in demselben Mastungszustande kaufen, wie man sie, nachdem sie arbeitsunfähig geworden sind, wieder verkauft, oder bei Nachzucht dafür Sorge tragen,

dass die Leichen der alten unbrauchbaren Tiere als Dünger benutzt würden, wäre gleichzeitig die Produktion von Futter für diese Tiere, sowie von Nahrungsmitteln für die Bewohner des Landguts der einzige Zweck des Feldbaues, so wäre die Stallmistdüngung mit gleichzeitiger Gewinnung der Exkremente der Bewohner ein volles Äquivalent für die durch die Ernten entnommenen Fruchtbarkeitsbedingungen der Felder. Höchstens in Beziehung auf die Lieferung einer intensiven Kohlensäurequelle und auf einige physikalischen Zustände des Bodens, sowie Aufnahmefähigkeit, Verteilung und chemische Form der Pflanzennährstoffe würden Unterschiede vorhanden sein gegenüber dem Effekt, den die geerntete Pflanzenmasse, wenn sie dem Boden verblieben wäre, hervorgebracht haben würde.

Es braucht nicht hervorgehoben zu werden, dass ein solcher ideeller Betrieb praktisch nicht vorkommen kann, dass in unserer Zeit jeder Wirtschaftende, der sich mit Feldbau und Viehzucht befasst, auch Produkte ausführen muss, da er ja eine Reihe von Bedürfnissen besitzt, die er nicht durch eigene Produktion zu befriedigen im stande ist, und zu deren Befriedigung er sich eben durch Ausfuhr von sogenannten landwirtschaftlichen Produkten die Mittel erwirbt. Die Möglichkeit der direkten Selbstbefriedigung aller Bedürfnisse setzt bekanntlich eine äusserst niedrige Stufe menschlicher Kultur voraus. Mit der Kultur pflegt die Anzahl der Bedürfnisse, die befriedigt werden können, zuzunehmen, und die Arbeitsgliederung, verbunden mit dem Tausch der verschiedenartigen produzierten Güter, ist es vornehmlich, die uns die Befriedigung so mannigfacher Bedürfnisse ermöglicht. Die Arbeitsteilung weist nun dem Landwirt notwendig die Aufgabe zu, nicht bloss Produkte für sich, seine Angehörigen und diejenigen, die sich an seiner Produktion beteiligen, hervorzubringen, sondern auch noch für eine grosse Anzahl von andern Menschen, welche alsdann zum Ersatz dafür ihm direkt oder indirekt zur Befriedigung seiner sonstigen Bedürfnisse verhelfen; und je grösser die Anzahl derjenigen ist, die er auf diese Weise mit landwirtschaftlichen Produkten versorgt, eine um so höhere Kultur wird im allgemeinen als möglich erscheinen. Pflegt man doch häufig gerade die Kultur durch die Menge der Bedürfnisse, die vom einzelnen befriedigt werden können, zu messen.

Aus dieser einfachen Betrachtung ergibt sich, dass gerade in den kultiviertesten Ländern die Feldprodukte unmöglich allein zur Ernährung der landbauenden Bevölkerung, und wo Viehhaltung stattfindet, zur Fütterung von Arbeitstieren verwendet werden können, sondern dass pflanzliche Nahrungsmittel für die nicht landbauende Bevölkerung produziert und verkauft werden müssen, und da die meisten kultivierten Menschen, trotz der Bemühungen der Vegetarianer, nicht von Pflanzenkost allein leben, mithin die Nutztiere nicht bloss ihrer Arbeitsleistung, sondern auch der Lieferung von tierischen Nahrungsmitteln wegen gehalten werden müssen, so folgt, dass auch tierische Produkte, Milch und Fleisch, erzeugt und ausgeführt*) werden

*) Es verdient hierbei für denjenigen, der die statischen Verhältnisse genauer zu verfolgen wünscht, Beachtung, dass die einzelnen tierischen Produkte, wie auch die verschiedenen landwirtschaftlichen Tierarten ungleiche Mengen an düngenden Bestandteilen in sich enthalten. So enthalten Schweine im Verhältnis zu ihrem Lebendgewicht die geringste Menge Aschenbestandteile, beträchtlich mehr die Schafe und am meisten das Rindvieh; vergl. Jahresbericht f. Agrikulturchemie, 1862–63, p. 199.

müssen. Dazu kommen diejenigen landwirtschaftlichen Produkte, als da sind Ge-spinstpflanzen, Weberkarde, Tabak, Krapp und dergl., welche nicht Nahrungsmittel der Menschen sind, aber gleichfalls und aus dem nämlichen Grunde ausgeführt werden.

Für die Stichhaltigkeit unserer Argumentation ist es ferner ganz gleichgültig, dass nicht alle Felder eines Landguts in gleicher Weise von jenem Verluste betroffen werden, dass z. B. nach den üblichen Bewirtschaftungsmethoden die Wiesen am meisten verlieren, das Weideland weit weniger, während vielleicht manche Felder so reich oder noch reicher gedüngt werden, als dies nach dem natürlichen Lauf der Dinge geschehen würde.

Die Dinge, die wir hier behandeln, sind auch dem Urteile der landwirtschaftlichen Praxis nicht fremd. Das bei Pachtverträgen übliche Verbot, Futter und Stroh zu verkaufen, zeigt aufs deutlichste, dass von jeher der Grundbesitzer von dem Nachteil eine Vorstellung hatte, den der freie Verkauf jener Stoffe, der namentlich bei kurzen Pachtterminen vom Pächter mit Vorteil vorgenommen werden würde, für die Ergiebigkeit seines Bodens haben musste. Diese Erkenntnis hat sich dort aber freilich nicht in jener allgemeineren Form ergeben, sondern einfach aus dem Augenschein entwickelt, dass die Stoffe, deren Ausfuhr verboten war, auf die Vermehrung des Stalldüngers hinwirkten.

Es geht aus den angestellten Betrachtungen über die notwendige Zusammensetzung des Stallmistes, wie er unter den herrschenden wirtschaftlichen Zuständen gewonnen wird, unzweifelhaft hervor, dass dieser allein nicht im stande ist, die Fruchtbarkeit der Felder dauernd zu erhalten, dass bei der reinen Stallmistwirtschaft ein Defizit entstehen muss zwischen Ersatz und Entnahme, welches nur durch Erwerbung von fremden Düngestoffen ausgeglichen werden kann.

Mit diesen Schlussfolgerungen haben wir aber, wie ich zu beachten bitte, einstweilen nichts über die allgemeine wirtschaftliche Unzulässigkeit jener Betriebsmethoden ausgesagt.

Fünfte Vorlesung.

Die menschlichen Auswurfstoffe.

Am Schlusse der vorigen Vorlesung haben wir von dem sogenannten Defizit bei der reinen Stallmistwirtschaft gesprochen. Es ist heute zunächst unsere Aufgabe anzugeben, wo sich die Stoffe, die jenes Defizit ausmachen, befinden müssen. Wenn wir vorderhand gänzlich von dem weniger ins Gewicht fallenden Handelsgewächsbau, durch welchen selbstredend auch Fruchtbarkeitsbedingungen den Feldern dauernd entzogen werden, absehen, so bleibt uns nur die in der vorigen Vorlesung besprochene Thatsache vor Augen, dass der Landwirt eben auf dem Wege des Tausches alle diejenigen Menschen mit tierischen und pflanzlichen Produkten versorgen muss, die in andern Produktionen thätig sind. Die landwirtschaftlichen Produkte wandern in die Städte, die Sammelplätze aller auf einem anderen Gebiete

Thätigen, der Handwerker, der Kaufleute und Industriellen, der Beamten, Gelehrten und Künstler und z. T. selbst der landwirtschaftlichen Grundbesitzer und Kapitalisten.

Es würde hier zu weit führen, die Ursache des centripetalen Zusammenlebens und Zusammenschaffens aller derjenigen Personen, die nicht als landwirtschaftliche Arbeiter im höheren und niederen Sinne des Wortes thätig sind, zu erläutern. Sie liegt, abgesehen von dem Schutz und den gesellschaftlichen Annehmlichkeiten, die das Zusammenwohnen gewährt, ganz vorzüglich in der Zweckmässigkeit des Ineingreifens der verschiedenen Thätigkeiten. Der Landwirt dagegen, der in seiner produktiven Thätigkeit an eine unumgänglich notwendige Bedingung des Pflanzenwachstums, an das Sonnenlicht gebunden ist, an eine Bedingung, deren man nicht in konzentriertem Zustand habhaft werden kann, sondern die sich gleichmässig über das ganze Land ergiesst, die unbegrenzt ist in der Ausdehnung und an jedem Fleck in der Ausnutzungsfähigkeit beschränkt — der Landwirt ist dieses geselligen Zusammenlebens unfähig und kann es nur suchen, soweit es ihm notwendigen Schutz gewährt — im Hofe oder in der Dorfgemeinde.

So ist denn das Korn und das Fleisch gezwungen, in die Städte zu wandern, und diese Produkte enthalten die Bedingungen des erneuten Pflanzenwachstums — Düngebestandteile, wie wir uns ausdrücken — in sich, während die Güter, welche der Landwirt zunächst für jene eintauscht, Kleider, Schuhe und andere Produkte der Industrie und des Handwerks, Spezereien u. s. w. keine solchen Bestandteile oder dieselben nur in verschwindendem Maasse in sich enthalten. In den Städten werden nun jene landwirtschaftlichen Produkte zum grössten Teil verzehrt, zum kleineren Teil nur gelangen sie, wie die tierischen Häute, das Horn, die Knochen, z. T. das Stroh, ins Bereich der Technik.

Die ausgeführten landwirtschaftlichen Produkte fallen also grossenteils dem menschlichen Stoffwechsel anheim und erfahren hierbei sehr ähnliche Veränderungen, wie wir sie für die Futterstoffe bei dem Durchgang durch den tierischen Organismus zu konstatieren hatten, und dass der Abtrittdünger schliesslich in seiner Zusammensetzung und Wirkungsweise sich so ausserordentlich von dem Stalldünger unterscheidet, dies rührt mehr davon her, dass dieser ausser den Exkrementen unserer Nutztiere noch das Material der Einstreu enthält, obwohl nicht geleugnet werden kann, dass auch an sich Unterschiede bestehen — Unterschiede, welche sich auf die Verschiedenheit der Ernährung, sowie der Verdauungsfähigkeit der verschiedenen Organismen zurückführen lassen.

Es tritt selbstverständlich beim Durchgang der Nahrungsmittel durch den menschlichen Organismus wieder eine Verminderung der Trockensubstanz ein, die eben auf die Veratmung eines Teils der organischen Substanz, auf den Austritt von Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff in Form von Kohlensäure und Wasser durch Lunge und Haut zurückgeführt werden muss. Der Stickstoff wird durch den menschlichen Organismus, wie die neueren Untersuchungen zeigen, auch bis auf einen verschwindenden Bruchteil durch den Darm und die Nieren abgeschieden, so dass die Trockensubstanz der Gesamtexkremente prozentisch reicher an Stickstoff sein muss, als es die verzehrten Nahrungsmittel gewesen sind, genau wie wir dies für den Stoffwechsel bei unsern Haustieren hervorzuheben hatten. Ebenso werden auch die un-

organischen Bestandteile auf dem Wege durch den Organismus eine Konzentration erfahren müssen.

Auf etwaigen Ansatz von Stoffen haben wir in diesem Falle weniger zu achten. Wohl ist auch der menschliche Organismus, vorzugsweise in der Jugendperiode, einem Wachstum unterworfen; aber der Zeitraum, in welchem Ansatz stattfindet, und die Grösse dieses Ansatzes sind im Verhältnis sehr viel kleiner als bei den landwirtschaftlichen Nutztieren, wo solche Perioden vorzugsweise benutzt werden, ein solcher Ansatz künstlich herbeigeführt wird. In der That stellen die menschlichen Leichen die einzige Substanz dar, wenn wir die kleine Menge von Stoffen, die ausser den eigentlichen Exkreten noch regelmässig gebildet und entfernt werden, wie die Haare, Nägel, Hautschuppen u. s. w., wie billig vernachlässigen, die jenes dennoch in geringem Maassstab bestehende Defizit zwischen Nahrungsmittel und Exkreten ausmachen. Diese Leichen repräsentieren indessen im Vergleich zu den sehr grossen Mengen von Stoffen, die den Organismus während des Lebens passiert haben, nur eine ziemlich verschwindende Menge von Pflanzenwachstumsbedingungen, einfach weil das menschliche Leben bei gleichzeitiger hoher Intensität des menschlichen Stoffwechsels, namentlich aber im Vergleich zu dem oft sehr abgekürzten Leben unserer Nutztiere, ungewöhnlich lange dauert.

So finden wir in den menschlichen Auswurfstoffen fast alle Bestandteile wieder, die dem Stalldünger fehlen, damit dieser im stande sei, in Bezug auf die Erhaltung der Fruchtbarkeit der Felder das zu leisten, was die ursprünglich geerntete Pflanzenmasse, wenn sie dem Feld erhalten worden wäre, geleistet haben würde. Es kann also keinem Zweifel unterliegen, dass die Quellen jenes Defizits fast vollkommen verstopft werden könnten, wenn man die menschlichen Auswurfstoffe, wie sie sich in den Städten anhäufen, der Landwirtschaft wieder zuführen würde. Nur die Düngbestandteile einiger Handelsgewächse, wie z. B. unserer Gespinstpflanzen, des Tabaks u. s. w., einer Anzahl von tierischen Abfällen, sowie die in den menschlichen Leichen enthaltenen Stoffe würden einen bleibenden Ausfall bedingen, einen Ausfall, der jedoch teilweise scheinbar ist, da ja namentlich im Strassenkehricht, der mit den Kloakenstoffen benutzt werden kann, viel von jenen abgenutzten Stoffen enthalten sein muss.

Wir werden also nicht weit fehlen, wenn wir die menschlichen Auswurfstoffe als das natürliche Supplement zum Stallmist betrachten, mit dem zusammen verwendet Felder und Wiesen sehr lange Zeit hindurch in Bezug auf gewisse Pflanzennährstoffe (die mineralischen) konstant erhalten werden könnten, in Bezug auf andere (den Stickstoff) selbst eine stetige Bereicherung erfahren müssten. Dieser Satz ist von Bedeutung, weil auf denselben wichtige, wiewohl unzulässige Folgerungen in Hinsicht unserer wirtschaftlichen Düngegesetze aufgebaut worden sind, ein Gegenstand, der uns später beschäftigen soll.

Vorerst interessiert uns hier die Thatsache, die sich aus den vorstehenden Erwägungen ohne weiteres ergibt, dass auch die Zusammensetzung der menschlichen Auswurfstoffe sich aus der Zusammensetzung der ausgeführten landwirtschaftlichen Produkte nahezu berechnen lassen muss, wenigstens soweit dies den Stickstoff und die mineralischen Bestandteile angeht. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass

die Menschen nicht ausschliesslich von den Produkten der Landwirtschaft oder gar der inländischen Landwirtschaft leben, und wenn wir auch selbstredend ein wichtiges Nahrungsmittel, das Wasser, ganz wie überall in diesen Betrachtungen vernachlässigen, so bleiben noch Stoffe übrig, wie das Kochsalz, das wohl im stande ist, die Zusammensetzung und die Eigenschaften des Abtrittdüngers einigermaassen zu alterieren.

Wir teilen zunächst die Zusammensetzung der vereinigten menschlichen Auswurfstoffe im Vergleich mit der einiger tierischen Exkremente mit.

Gesamtausleerungen						
vom Menschen.			vom Rind.		vom Pferd.	
Wasser	92,9 %	a. 100 Asche	87 %	a. 100 Asche	77 %	a. 100 Asche
Org. u. flücht. Subst.	5,7	408	11	500	19	630
darin Stickstoff	1,06 %	76	0,41 %	18	0,6 %	19
Asche	1,37	100	2,2	100	3,15	100
darin Phosphorsäure	0,23	17	0,13	6	0,14	4
„ Kali	0,22	16	0,16	27	1	32

Obleich die für die menschlichen Ausleerungen gemachten Angaben Durchschnittszahlen aus einer Reihe von Analysen sind und nur das Mittel repräsentieren von der je nach Ernährung der Individuen recht verschiedenen Zusammensetzung der Exkremente, so sind diese Abweichungen doch nicht gross genug, um nicht auf Grund jener Zahlen eine stichhaltige Vergleichung mit der Durchschnittszusammensetzung der Exkremente unserer Haustiere zu gestatten.

Um die Ursache der Unterschiede, welche sich bei dieser Vergleichung ergeben werden, sogleich einzusehen, führen wir daneben die Zusammensetzung der hauptsächlich menschlichen Nahrungsmittel neben der des hervorragendsten Futterstoffs jener Haussäugetiere an.

Weizen (Korn).			Fleisch (Ochs).		Heu.	
Wasser	14,3 %	a. 100 Asche	77 %	a. 100 Asche	14,4 %	a. 100 Asche
Org. Substanz	83,9	4740	21,7	1720	78,9	1180
darin Stickstoff	2,08 %	117	3,60 %	286	1,31 %	19
Asche	1,77	100	1,26	100	6,66	100
darin Phosphors.	0,82	46	0,43	34	0,41	6
„ Kali	0,55	21	0,52	42	1,71	26

Es wurden neben die prozentischen Zusammensetzungen der einzelnen Auswurfstoffe und Nahrungsmittel noch die auf 100 Aschenbestandteile bezogenen Zahlen gesetzt, weil auf diese Weise das, was hier gezeigt werden soll, klarer hervortritt. Bei der blossen prozentischen Angabe des Gehalts an den einzelnen Stoffen stört der ausserordentlich verschiedene, in gewisser Beziehung gänzlich zufällige Wassergehalt der einzelnen Nahrungsmittel und Auswurfstoffe den Zweck unserer Betrachtung; nimmt man die Trockensubstanz als Grundlage, so ist ein ähnlicher Übelstand be-

merkbar; denn dieselbe ist ebenso wie die wasserhaltige Substanz für unsere Betrachtungen eine variable Grösse, da ein grosser Bruchteil der organischen Substanz bei dem Durchgang durch den Organismus zerstört wird. Dagegen sind die Aschenbestandteile etwas völlig Konstantes; dieselben treten, soweit kein Ansatz erfolgt, in durchaus unveränderter Menge wieder aus dem Organismus aus, und durch Beziehung auf sie gewinnt man einen klaren Überblick über den relativen Gehalt der Nahrungsmittel und der Ausleerungen an den andern und den einzelnen mineralischen Bestandteilen. Beziehungen, die vorher bei der einfachen prozentischen Angabe ganz dunkel bleiben mussten, treten sofort ans Licht.

Aus den so gewonnenen Zahlen ist denn nun klar ersichtlich, dass die menschlichen Auswurfstoffe, bezogen auf gleiche Mengen von Aschenbestandteilen, weit stickstoffreicher sind als die Auswurfstoffe unserer Haustiere*), und es ist leicht erkenntlich, dass der so auffällige Unterschied seine Ursache hat in dem gleichen Verhältnis zwischen den Nahrungsmitteln der betreffenden Organismenklassen. Fleisch und Korn haben freilich noch ein weit günstigeres Stickstoffverhältnis, das eben durch gleichzeitiges Geniessen von anderen aschereicheren Nahrungsmitteln: Gemüse, Kartoffeln und namentlich Kochsalz herabgedrückt wird. Auf genau dieselbe Weise erklärt sich der hohe Phosphorsäuregehalt der Asche der Menschenexkremeute gegenüber dem der Asche der tierischen Exkremeute**), während in Bezug auf Kali sich keine so handgreiflichen Unterschiede geltend machen, wiederum ganz entsprechend dem Kaligehalt der Aschen der respektiven Nahrungsmittel. Die Abhängigkeit der Zusammensetzung der Ausscheidungen von der Nahrung ist nach dieser Darstellungsweise unverkennbar.

Die so gewonnenen Beziehungen wären ohne die von uns gewählte Betrachtungsweise in keiner Hinsicht hervorgetreten, da der sehr grosse Wassergehalt der menschlichen Ausleerungen, der sich einfach erklärt aus dem besonders reichlichen Flüssigkeitsgenuss der Menschen, und andererseits der sehr ungleichmässige Wassergehalt der betreffenden Nahrungsmittel die Vergleichung ausserordentlich erschwert.

Aber nicht bloss über das relative Verhältnis in den menschlichen und tierischen Ausleerungen an einzelnen düngenden Bestandteilen und über die Ursache dieses Verhältnisses giebt uns eine derartige Betrachtung Aufschluss; sie lehrt uns gleichzeitig, welche Stoffe es vorzüglich sind, die jenes vielbesprochene Defizit im Stallmist ausmachen; sie lehrt uns, dass in Form von Korn und Fleisch vorzugsweise Stickstoff und Phosphorsäure in die Städte wandern und dort sich in den menschlichen Exkrementen anhäufen, während für Kali ein solches Verhalten nicht in den Vordergrund tritt. Wir haben so neben der Vorstellung von dem quantitativen Ausfall an düngenden Bestandteilen bei der reinen Stallmistwirtschaft uns auch einen Begriff gebildet von der qualitativen Zusammensetzung dieses Ausfalls, was natürlich für manche Betrachtungen von erheblicher Wichtigkeit ist.

*) Das hier Gesagte gilt auch selbst für das Schaf, dessen Ausleerungen in obiger Zusammenstellung nicht berücksichtigt wurden.

**) Auch hieraus ist wieder die unzertrennliche Vergesellschaftung von N u. P, auf die wir früher hingedeutet haben (vergl. I. Teil, die 17. Vorlesung, p. 264), klar ersichtlich.

Ehe wir nun von der Bedeutung der menschlichen Ausleerungen als Düngestoffe in physischer und ökonomischer Hinsicht das Nötige sagen, müssen wir noch etwas näher auf die Menge und Zusammensetzung dieser Exkremente sowie auf die Verteilung der sie konstituierenden Stoffe in Harn und Kot eingehen. Zunächst sind wir im stande, Mitteilungen über die durchschnittliche Menge dieser Ausleerungen für das einzelne Individuum zu machen — Zahlen, welche für keinerlei Berechnungen bezüglich der landwirtschaftlichen Verwendung der Kloakenstoffe entbehrt werden können. Man nimmt als Durchschnittsziffer für die täglichen Ausleerungen eines Individuums $1\frac{1}{3}$ Kilogramm an, das ist für die binnen eines Jahres abgeschiedene Menge etwa 486 Kilogramm, also nahezu 1000 alte Pfunde oder eine halbe Tonne. Es bietet diese Zahl eine grosse Bequemlichkeit dar, weil so zugleich die oben gemachten prozentischen Gehaltsangaben an einzelnen Bestandteilen uns Auskunft geben über die jährliche absolute Ausscheidung an diesen Bestandteilen, indem man jene Prozente nur mit 10 zu multiplizieren braucht, um ungefähr in Pfunden die Grösse der durchschnittlichen jährlichen Ausscheidungen zu kennen.

Wir wissen also zugleich, dass ein erwachsenes menschliches Individuum im Durchschnitt ungefähr 30 Kilogramm organische Stoffe, reichlich 5 Kilogramm Stickstoff, etwas über 1 Kilogramm Kali und noch etwas Phosphorsäure jährlich durch Blase und Darm abscheidet, wodurch wir sehr handliche Anhaltspunkte für Berechnungen gewinnen.

Von ebenso grosser Wichtigkeit ist die Verteilung dieser Bestandteile auf Harn und Kot, namentlich wegen der so allgemein üblichen Verschleuderung der flüssigen Ausleerungen. Die absolute Menge des entleerten Harns ist beim Menschen beinahe die zehnfache von der der frischen, festen Exkremente — sehr im Gegensatz zu den Pflanzenfressern, bei denen infolge des grossen Ballastes, womit sie ihren Darm beschweren, eher ein umgekehrtes Verhältnis besteht. Allein natürlich repräsentiert der Harn wegen seines sehr viel grösseren Wassergehalts nicht die zehnfache Menge an einzelnen für den Düngerwert in Betracht kommenden Substanzen. Derselbe enthält vielmehr, dieser grösseren Verdünnung entsprechend, absolut nur etwa die doppelte Menge von organischen Substanzen, die anderthalbfache Menge Phosphorsäure (an diesen beiden Substanzen ist er relativ am ärmsten), nicht ganz die vierfache Menge Kali, aber beinahe die sechsfache Menge an Stickstoff, als die festen Exkremente.

Aus den gemachten Mitteilungen ist deutlich ersichtlich, dass bei weitem der grössere Bruchteil von einzelnen düngenden Bestandteilen sich im Harn befindet. Dies erlaubt auch zugleich einen Schluss auf die Schnelligkeit der Verwertung dieser Bestandteile als Pflanzennahrung. Der Stickstoff, der sich seiner absoluten Menge nach fast ganz und gar im Harne befindet, ist daselbst als Endprodukt des Stoffwechsels, als Harnstoff, nur in zurücktretenden Quantitäten als Harnsäure und andere stickstoffhaltige Substanzen vorhanden, also in einer Form, wo er wohl geradezu als ein direktes Pflanzennahrungsmittel dienen kann, wenn er auch in der Regel vorher noch Umwandlung in Ammoniak- und (in der Erde) in salpetersaure Verbindungen erleiden wird.

Wenn wir nun von der Bedeutung der menschlichen Ausleerungen als Düngestoffe zu sprechen beginnen, so ist vor allem festzustellen, dass die Zusammensetzung

der gemischten Ausleerungen durchaus nicht vollkommen identisch ist mit der des Abtrittdüngers, wie er nach unseren zur Zeit bestehenden Sitten nun einmal zur Verwendung kommen kann. Wir werden bei Zusammenstellung der betreffenden Zahlen erkennen, dass die Kloakenstoffe in ihrem durchschnittlichen Gehalt an wertvollen düngenden Bestandteilen häufig weit hinter dem frischen Gemisch der menschlichen Ausleerungen zurückstehen und die Ursache dafür in unseren Gewohnheiten erkennen. Man wird sich freilich die Frage stellen, warum auch an Orten, wo der Inhalt der Kloaken zur Düngung Verwendung findet, eine rationellere Behandlung des Abtrittdüngers, welche jene Verdünnung und damit seine Entwertung verhütet, nicht mehr und mehr jene Gewohnheiten verdrängt; man wird aber dann später einsehen, dass die Prämie, welche durch die Erhöhung des Düngerwerts auf Änderung unserer Bequemlichkeiten gesetzt ist, in den meisten Fällen doch nicht hoch genug ist, um uns zu dieser Änderung zu veranlassen.

Das Verhältnis der Zusammensetzung der frischen Ausleerungen den Stoffen gegenüber, wie sie sich durchschnittlich in unseren Abtrittgruben vorfinden, ist aus folgender Zusammensetzung deutlich ersichtlich.

Abtrittsinhalt.*)						
	Exkreme	Amsterdamer	Heidelberger			System
	mente	Gruben.	Tonnen.	Augsburger	Tonnen mit	Liernur.
				Tonnen.	Wasserspülung.	
Wasser	92,9 %	81,5 %	85,0 %	93 %		97,7 %
Org. Substanz	5,7	9,3	12,7			1,6
darin Stickstoff	1,06 %	0,56 %	0,94 %	0,6 %	0,29 %	0,24 %
Asche	1,37	9,2	2,3			0,7
darin Phosphors.	0,23	0,69	0,54	0,2	0,07	0,04
„ Kali	0,22	0,13	0,37	0,2		0,12.

Die Richtung der erlittenen Veränderung ist in den verschiedenen Fällen der Ansammlung sehr verschieden. In Gruben und Tonnen ohne Spülung ist manchmal der Inhalt sehr konzentriert, zumal wenn wenig Urin hineingelangt. Stickstoff hat immer abgenommen, dagegen hat selbst, wenn Spülung stattfand, die Asche und speziell Kali häufig nicht abgenommen, weil Kehrlicht und namentlich die Asche unserer Brennmaterialien vielfach jenen Gruben einverleibt werden. Woher der Stickstoffverlust, brauchen wir nicht erst zu fragen. Der stechende Ammoniakgeruch der meisten Aborte ist ja bekannt genug.

Dass eine Durchschnittszusammensetzung von Abtrittsinhalt nicht maassgebend sein kann für einzelne Fälle, geht aus der weit von einander abweichenden Verschiedenheit der Aufsammlungsarten und unserer sonstigen Gewohnheiten hervor. Je nach der Stärke der Spülung, je nachdem die Stoffe durch das längere oder kürzere Verweilen in einer so oder so beschaffenen Grube Gelegenheit haben, eine mehr oder weniger tief eingreifende Zersetzung durchzumachen, je nach der Beschaffenheit der Substanzen, die noch sonst jenen Gruben einverleibt werden, ist das Endresultat ein sehr verschiedenes. Aus der Kenntnis der übrigen Behandlungs-

* Meistens nach Analysen der Versuchsstation zu Wageningen für Amsterdamer Verhältnisse. Nur die Angaben für Tonnen mit Wasserspülung sind bezüglich auf Heidelberg, eine andere Analyse von Tonneninhalt bezieht sich auf Augsburg.

arten und aus der Vergleichung der produzierten Gesamtmengen mit der pro Kopf sich berechnenden Menge wird man sich indessen ein Urteil bilden können über den Gehalt der in den Gruben enthaltenen Massen.

Ganz abgesehen von der Art der Aufsammlung ist aber die Zusammensetzung und Düngbefähigung der menschlichen Auswurfstoffe abhängig von der besseren oder schlechteren Ernährung der Menschen, von denen sie herrühren. Dies ist durchaus nicht lediglich eine theoretische Folgerung, sondern eine in der Praxis anerkannte Thatsache. Es wird erzählt, ein französischer Landwirt habe aus einer benachbarten grösseren Stadt Latrinestoffe für die Düngung seiner Felder erhalten und habe einmal mit diesen Stoffen, welche er aus den Gruben eines grösseren Gasthofes bezogen, so glänzende Erfahrungen gemacht, dass er nun mit einer Reihe von öffentlichen Anstalten, Kasernen, Zuchthäusern und dergleichen Kontrakte über Lieferung der Latrinestoffe abgeschlossen habe in der Hoffnung, dieselben günstigen Erfahrungen zu wiederholen. Allein er habe nun bei diesem Handel ziemlich schlechte Geschäfte gemacht und gesehen, dass er mit Unrecht die menschlichen Ausleerungen jeder Herkunft als einander gleichwertig angesehen habe. — Ja man geht in diesen Erzählungen noch weiter und behauptet, dass die ackerbautreibende Bevölkerung in der Umgegend einer oberitalienischen Stadt den Auswurfstoffen der protestantischen Stadtbewohner einen höheren Wert beilege als denen der katholischen, und will diese raffinierte Unterscheidung dadurch erklären, dass die protestantische Einwohnerschaft jener Stadt die arbeitsamere, intelligentere und darum wohlhabendere sei, die sich daher besser ernähre und darum auch wertvollere Ausleerungen erzeuge*).

Mögen diese Erzählungen nun richtig sein oder nicht, jedenfalls lässt sich behaupten, dass die Exkremente gut ernährter Menschen qualitativ reichhaltiger an den wertvollsten düngenden Bestandteilen sind und sein müssen als die schlecht ernährter, und zwar lässt sich die Behauptung vornehmlich auf zwei Gesichtspunkte zurückführen. Einmal sind die stickstoffhaltigen Nahrungsstoffe die schmackhafteren und teureren, und arme Leute, welche an ihnen sparen möchten, überhaupt ihren Stoffumsatz auf ein Minimum herabzudrücken suchen werden, wählen ganz allgemein zu ihrer Kost ein Nährstoffverhältnis, in welchem die Proteinstoffe verhältnismässig zurücktreten, ein stickstoffarmes Nahrungsgemisch, dem nach den oben über das Verhältnis von Ernährung zur Ausscheidung gemachten Bemerkungen stickstoffarme Gesamtausleerungen entsprechen. Dass solche stickstoffarme Ausleerungen gleichzeitig phosphorsäurearme sein werden, versteht sich nach den früheren Ausführungen über die intime Kameradschaft der beiden Substanzen gleichfalls von selbst. — In zweiter Linie kann dann hervorgehoben werden, dass die leichter verdauliche Substanz gleichfalls kostspieliger ist und auf dem Küchenzettel des Begüterten eine hervorragende Rolle einnimmt, dass also bei ihm verhältnismässig mehr, namentlich auch von dem genossenen Stickstoff in den Stoffwechsel eingeht**) und im Harn aus-

*) Vergl. Schultz-Schultenstein: Über Pflanzenernährung, 1860, p. 69.

**) Es ist dabei im Auge zu behalten, dass ein grösserer Reichtum an verdaulichen Proteinstoffen eine bedeutende Vergrösserung des Gesamtstickstoffumsatzes zur Folge hat. Vergl. über diese Beziehungen besonders die Abhandlungen Voit's in der Zeitschrift für Biologie.

geschieden wird, also den Pflanzen zugänglicher wird als der Stickstoff, der in der Kost des Ärmern vorhanden ist und welcher zu einem grösseren Teil in noch unaufgeschlossener Form in die Darmausleerungen übergeht.

Dass die verschiedene Behandlungsweise der gesammelten Auswurfstoffe, deren grössere oder geringere Verunreinigung mit anderen oft wertlosen Stoffen einen auch durch die praktische Erfahrung bestätigten Einfluss auf die Düngbefähigung dieser Substanzen hat, ist durch viele Beispiele bekannt genug und bedarf keiner besonderen Belege.

Was nun im folgenden über die Bedeutung der menschlichen Exkremente als Düngestoffe gesagt werden wird, gilt teilweise nur für die Voraussetzung der bei unsern Aufsammlungsmethoden gewöhnlichen Durchschnittszusammensetzung derselben. Führen wir uns vorerst noch einmal diese im Vergleich mit der einiger Stallmistsorten vor Augen.

	Abtritt.	Frischer Mist.		Durchschn. Stallmist.	Durchschn. Jauche.
		Pferd.	Rindvieh.		
Wasser	82—97 %	70,0 %	81—84 %	75 %	98,2 %
Org. Substanzen	1,6—12	26,3	13—16	18,1	0,7
darin Stickstoff	0,3—0,9 %	0,67 %	0,37—0,45 %	0,53 %	0,15 %
Asche	1—3	3,7	2,3—2,5	6,91	1,07
darin Phosphorsäure	0,2—0,7	0,25	0,2	0,32	0,01
„ Kali	0,2—0,3	0,94	0,5	0,68	0,49.

Der Vergleich zeigt uns deutlich, dass der Abtrittdünger seiner gewöhnlichen Beschaffenheit nach in der Regel wasserreicher ist als irgend eine Stallmistsorte und viel ärmer an organischen Substanzen. Das letztere wird namentlich erklärlich durch die Beimengung des organischen Streumaterials im letzteren Falle, sowie auch durch die voluminösen Darmausleerungen aller pflanzenfressenden Nutztiere. Hinsichtlich des Gehalts an Wasser und organischen Bestandteilen nähern sich namentlich die mit Wasser verdünnten Latrinestoffe vielmehr ausserordentlich der Mistjauche.

Im Verhältnis zum Substanzgehalt der wässrigen Latrinestoffe überhaupt fällt dann den Stalldüngersorten gegenüber der hohe Stickstoffgehalt jener auf, da dieser beinahe immer die absolute Höhe des Stickstoffgehalts des Stalldüngers erreicht und zuweilen überschreitet. Für Phosphorsäure gilt dasselbe, während der Kaliegehalt verhältnismässig gering ist. Auf diese letzteren Unterschiede kommt dann auch die Gehaltsdifferenz zwischen den Latrinestoffen und der Mistjauche heraus; der Stickstoffgehalt und noch mehr der Gehalt der Latrinestoffe an Phosphorsäure ist sehr viel höher, der Kaliegehalt beträchtlich geringer als der der Jauche.

Aus dem allen zusammen muss sich dann die Düngewirkung der Latrinestoffe klar ergeben; dieselben werden einerseits der Jauche ähnlich sehr rasch zur Wirksamkeit gelangen, aber aller sogenannten physikalischen Wirkung auf Lockerung der Ackererde entbehren; allein sie sind natürlich mehr spezifische Stickstoff- und Phosphorsäuredünger als jene, wodurch ihre Wirksamkeit für Böden von gewissem Düngeszustande und für manche Kulturen eine abweichende wird. Gleicht die Jauche

mehr dem Salpeter unter den Handelsdüngern, so wären die Fäkalien eher dem Peruguano zu vergleichen*).

Dazu kommt noch eine spezifische, nicht durch die aufgeführten Analysen verdeutlichte, aber früher schon erwähnte Eigenschaft des Abtrittdüngers, sein verhältnismässig hoher Kochsalzgehalt, in Betracht. Wir werden nun zwar später**) einige nützliche Wirkungen zu beleuchten haben, welche Kochsalzdüngungen im Boden anzubauen vermögen; allein wir erinnern uns zugleich an einige im ersten Abschnitt gemachte Bemerkungen über die Schädlichkeit eines chlorhaltigen Nährbodens für manche Kulturen, für Tabak, Rüben, Kartoffeln***). Für diese kann geradezu — und dies ist z. B. für den Tabak in der badischen Pfalz mit Sicherheit festgestellt worden†) — die oft wiederholte Düngung mit Latrinestoffen qualitätsverschlechternd wirken.

Abgesehen von den so sich ergebenden Unterschieden lauten die Angaben über praktische Verwendung des Abtrittdüngers ziemlich ähnlich wie die über die Jauche. Derselbe wird auch wie diese als Köpfdüngung angewendet, wobei jedoch regelmässig eine Verdünnung mit Wasser vorgenommen werden muss, wie dies ja auch in den meisten Fällen mit der Jauche geschieht. Ganz besonders hervorragend ist dann die Anwendung des Abtrittdüngers in der Gemüsegärtnerei, da er gerade der Gartenkultur, welche sich naturgemäss um die grösseren Städte herum konzentriert, ausserordentlich zur Hand ist, und die Gartengewächse eines Düngers bedürfen, der ihnen sofort Nährstoffe in reichlichstem Maasse und in zugänglichster Form zur Verfügung stellt. Auf dieselben Gesichtspunkte lässt sich dann die Verwendung des Abtrittdüngers zu andern intensiven Kulturen zurückführen.

Der Jauche gegenüber verdient noch hervorgehoben zu werden, dass der Abtrittdünger sowohl seiner Entstehungsweise nach als nach seiner Zusammensetzung ein vollständigeres Düngemittel ist als jene, und dass er die einzelnen düngenden Bestandteile mehr in dem Verhältniss enthält, wie sie in die Zusammensetzung der Pflanzen eingehen, und gerade die beiden Stoffe, an denen der Mangel im Boden durchschnittlich am grössten ist, in reichlichem Maasse enthält. Wir haben zwar in der letzten Vorlesung auseinandergesetzt, dass durchaus nicht diejenigen Düngestoffe, welche schon in ihrem Gehalte die Zusammensetzung eines zu bauenden Gewächses möglichst genau darstellen, sich im einzelnen Falle notwendig als die richtigste Düngung erweisen müssen. Allein demgegenüber verdient jetzt hervorgehoben zu werden, dass eine andauernde Düngung durch längere Zeiträume hindurch nur durch Düngemittel wird gegeben werden können, welche in ihrer Zusammensetzung die der Pflanzen einigermaassen repräsentieren, wie denn überhaupt für längere Perioden das Kriterium des Ersatzes des Entnommenen ein immer wichtigeres und wichtigeres wird. Eine ausschliessliche Düngung mit Jauche ist, des geringen Gehalts dieser Flüssigkeit an Phosphorsäure wegen und auch wegen deren unverhältnismässigen Kalireichtums, längere Zeit hindurch nur für wenige Kulturen

*) Daher das bekannte Witzwort eines gekrönten Hauptes das richtige getroffen hat.

**) Vergl. die 9. Vorlesung dieses Abschnittes.

***) Vergl. die 17. Vorlesung, p. 275 des I. Theils.

†) Vergl. J. Nessler: Der Tabak u. s. w., 1867, p. 75.

von sehr einseitigem Bedürfnis denkbar, während eine Bewirtschaftung mit dem Anbau aller möglichen Früchte und der ausschliesslichen Verwendung von Latrinestoffen in manchen Böden durch sehr viel längere Zeit hindurch thatsächlich geschehen kann.

Der Möglichkeit der ausgedehntesten Anwendung des Abtrittdüngers in der Landwirthschaft stehen überhaupt, wenn wir die wirtschaftlichen Gesichtspunkte noch einstweilen ausser acht lassen wollen, nur zwei Bedenken entgegen, einmal der schon hervorgehobene Mangel an der sogenannten physikalischen Wirkungsfähigkeit, der seine alleinige Anwendung z. B. auf sehr schweren Böden verbietet, und dann die Qualitätsverschlechterungen, die bei seiner Verwendung an den angebauten Früchten beobachtet worden ist. Hierhin ist nicht bloss zu rechnen die vorhin hervorgehobene ungünstige Wirkung seines hohen Kochsalzgehaltes, sondern es ist bekannt, dass man an den mit Abtrittdünger gedüngten Gewächsen zuweilen einen ekelhaften Geschmack bemerkt. Am Blumenkohl, auf Dünensand mit Hilfe von Kloakendünger erzielt, ist der ekelhafte Beigeschmack sehr häufig wahrzunehmen und geradezu ein Umstand des Minderwertes desselben. Auch kann, abgesehen von dieser untrüglichen Erfahrung*), von seiten der Theorie nicht die Möglichkeit des Übergangs gewisser riechenden Prinzipien in die Pflanze abgeleugnet werden. Dieser Umstand steht jedoch einer ausgedehnteren Anwendung der Latrinestoffe durchaus nicht im Wege, da man ja die empfindlicheren Pflanzen nicht nach einer frischen Düngung zu bringen braucht und durch Kompostierung und dergleichen jedenfalls einen Teil der riechenden Prinzipien zerstören kann, sondern verbietet nur eine unvorsichtige direkte Anwendung zu allen Kulturen und namentlich zur Zeit des Pflanzenwachstums.

Überhaupt ist Kompostierung für Abtrittdünger sehr häufig die angemessenste Verwendungsart, einmal weil diese Zubereitung es gestattet, viele anderen städtischen Abfallstoffe wie Stroh und Strassenkehricht dem Dünger einzuverleiben, und dann namentlich weil die stinkenden Stoffe sich in dieser Form ohne erheblichen Verlust an Pflanzennährstoffen monatelang bewahren lassen und eine handliche Ware bilden. Die holländische Stadt Groningen, die berühmt geworden ist wegen ihres vorteilhaften Handels mit den städtischen Abfallstoffen, wendet ausschliesslich diese Methode an, wobei die Kompostbereitung auf undurchlässigen überdachten Düngestätten geschieht. Nur die absickernde Flüssigkeit wird besonders an den Mann gebracht. Analysen dieses Kompostes sind:

Kompost aus Fäkalien.

Wasser	35—60 %	} nach Analysen der Versuchsstation zu Wageningen.
Organ. Bestandteile	14—20	
darin Stickstoff	0,4—0,8 %	
Aschenbestandteile	20—50	
darin Phosphorsäure	0,6	
darin Kali	0,3—0,5	

*) Vergl. z. B. Sprengel: Lehre vom Dünger, 1839, p. 146. Ähnliches wird auch von den Exkrementen der Schweine behauptet; vergl. ebenda, p. 138 u. 230. Auch bei der Gemüsegärtnerei mit Hilfe von Abfällen der Heringsalzereien ist ähnliches regelmässig zu beobachten.

Über die Düngebefähigung eines solchen Produktes brauchen wir nichts hinzuzufügen; aber interessant ist der folgende Fall seiner ganz besonderen Geeignetheit wegen, die Verschiedenheit der äusseren Umstände ins rechte Licht zu setzen. Die eigentümliche physikalische Beschaffenheit des Kloakendüngers, welche seine Anwendung auf gewöhnliche bindige Ackererde erschwert, kann natürlich unter ganz besonderen Verhältnissen als ein Vorteil erscheinen, da wo nämlich ein Boden von ausserordentlich lockerer Beschaffenheit gleichsam zusammengekittet werden muss. So verhält es sich z. B. mit den merkwürdigen Kulturmethode in den holländischen Moorkolonien, von denen uns M. Märcker ein so interessantes und, wie ich mich später überzeugt habe, korrektes Bild entworfen hat*). Dort kann man Stalldünger und dergl. auflockernde Düngemittel gar nicht gebrauchen, weil es sich darum handelt, aus äusserst lockeren Torfüberresten, sog. Moostorf (Bonkaarde holl.) und Sand zusammen eine einigermaassen bindige Masse herzustellen. Da thun grosse Massen von Stadtdünger eine überraschende Wirkung, so dass derselbe sogar über seinen Preis an wirklichen Nährstoffen bezahlt wird. Aus dem gleichen Grunde vermeidet man dort in den ersten Jahren der Kultur nach Möglichkeit alle auflockernde Bodenbearbeitung.

Trotz solcher besonderen Fälle erscheint als durchaus nicht entsprechend der so hohen Düngebefähigung der menschlichen Auswurfstoffe und des aus ihnen hervorgehenden Abtrittdüngers und Kompostes die durchschnittliche Anwendung dieser Stoffe in der Landwirtschaft. Wenn es auch nicht richtig ist, wie man früher aussprechen hörte, dass die Verwendung der menschlichen Exkremente wenigstens in Europa wesentlich die Errungenschaft einer ganz neuen Zeit, vielleicht gar die Folge der naturwissenschaftlichen Einsicht in die Pflanzennahrung sei, wenn auch sorgfältigere Nachforschungen über die Gebräuche älterer Kulturvölker es über allen Zweifel erhoben haben, dass die menschlichen Exkremente schon in sehr alter Zeit und in manchen Orten wohl auch einen grossen Teil des Mittelalters hindurch in grossem Maassstab Verwendung gefunden haben, so bleibt es doch auf den ersten Blick auffallend, dass diese Düngungsmethode fast überall mit Ausnahme von China und Japan eine vorübergehende oder rein lokale geblieben und nicht wie die Stallmistdüngung eine allgemeine Betriebsmethode geworden oder geblieben ist**).

*) Landw. Jahrb., 1875, p. 931.

**) Ziemlich bekannt ist die Thatsache, dass schon der Kloakeninhalt des alten Roms zur Düngung der die Stadt umgebenden Gärten mit Sorgsamkeit Verwendung gefunden hat; unter Vespasian bestand sogar eine Urinsteuer, eine Einrichtung, die selbstredend eine Verwertung dieser Ausleerungen im grossartigsten Maassstab voraussetzt. Weniger bekannt dürfte sein, dass die Araber lange vor Christi Geburt eine Art von *Poudrette*-Fabrikation betrieben, d. h. also die menschlichen Exkremente in eine feste, transportable Form gebracht haben, und dass auch die alten Einwohner von Peru die menschlichen Auswurfstoffe zur Düngerfabrikation verwendeten. — Im modernen Europa wurde der Latrineninhalt vor dessen Empfehlung durch die Naturwissenschaft, und abgesehen von der ganz lokalen Verwendung der auf den Landgütern selbst entstehenden menschlichen Auswurfstoffe, nur in wenig Ländern, namentlich in der Lombardei, in Flandern (daher der Name „flandrischer Dünger“ für die Latrinestoffe) und einigen anderen Ländern, in neuerer Zeit zu intensiven, namentlich gärtnerischen Kulturen an vielen Orten verwendet.

Ein zweiter Blick freilich lehrt, dass die Ursache der geringen Verwendung in den hohen Transportkosten der so verdünnten Düngestoffe von den Städten bis aufs Ackerland gelegen ist. Wir werden auf diesen Umstand in einer der letzten Vorlesungen zurückkommen, bemerken aber schon jetzt, dass sich bei dem Verhandeln der städtischen Abfälle an die Landwirtschaft auch noch der diesem Geschäfte nachteilige Umstand geltend macht, dass in den Centren des menschlichen Zusammenwohnens, und je grösser dieselben sind, um so mehr, beinahe immer eine Überproduktion von Düngestoffen im Verhältnisse zu dessen Bedarf in der nächsten Umgebung notgedrungen stattfinden muss. Es müssen also stets entfernter wohnende Landwirte zu deren Verwendung herangezogen werden, in welchen Fällen die enormen Transportkosten der in der Regel noch durch Wasserspülung stark verdünnten Exkremente deren Wert loco Produktionsstätte beinahe ganz illusorisch machen. Dieses Umstandes wegen werden auch durch Gartenbau und intensive Landwirtschaft, die sich direkt in der Umgebung der grossen Städte anzusiedeln pflegen, dieselben niedrigen Preise bezahlt, welche für den weitest wohnenden Landwirt, der noch an der Abnahme teilnehmen muss, um die Stoffe ganz zu placieren, noch eben lohnende sind, — dies alles dem ökonomischen Gesetze zufolge, dass die gleichen Stoffe auf dem gleichen Markte denselben Preis bedingen *).

Aus diesem Grunde hängt, ob die städtischen Auswurfstoffe mit Vorteil in der Landwirtschaft verwendet werden können, in so hohem Grade ab von billigen Transportmitteln (z. B. auf Kanälen oder durch billige Tarife seitens der Eisenbahndirektionen) und von dem Bedürfnis der Landwirtschaft in der nächsten Umgebung. Wo beide Umstände günstig sind, wie in Flandern oder in der Umgebung der Stadt Groningen**), da wird der Verkauf der Exkremente oft eine erhebliche Einnahmequelle, die nicht bloss die Kosten der Stadtreinigung vergüten, sondern darüber hinaus noch ein ergiebiges Einkommen gewähren kann.

Im Falle die Auswurfstoffe für die Landwirtschaft Verwendung finden sollen, werden sie von seiten der Städter gesammelt entweder in Gruben, welche seit der Zeit, dass man Schädigungen für die Gesundheit von der Infiltration des städtischen Bodens befürchtet, mehr und mehr undurchlassend hergestellt werden, oder in Tonnen, in Bezug auf welche Einrichtung, beginnend mit dem Groninger System der „horribile dictu“ offenen Kübel bis zum vollendeten Heidelberger System der geschlossenen eisernen Tonnen***), ebenso eine ganze Stufenleiter besteht. Bei der letztgenannten Weise, die Auswurfstoffe zu sammeln, ist natürlich einer Infiltration des Bodens

*) Man hat es in diesem Umstande mit einer Anwendung desselben volkswirtschaftlichen Gesetzes zu thun, welches von v. Thünen in seinem „isolierten Staate“ zuerst in Bezug auf die Preise der landwirtschaftlichen Produkte dargelegt worden ist und wodurch die Unterschiede in den Bedingungen der intensiven und extensiven Landwirtschaft zuerst deutlich gemacht worden sind. Der Landwirt in der Nähe der Verkehrscentren profitiert also auch durch die Möglichkeit, die städtischen Abfallstoffe unter ihrem eigentlichen Nährwerte zu erwerben, erschwert aber dadurch zugleich den Städten die Erzielung eines annehmbaren Preises. Dieser Gesichtspunkt des weiteren entwickelt in Landbouw Courant, 1878, Nr. 79.

**) In den günstigen Jahren bis 1879 war daselbst die Roheinnahme per Kopf Bevölkerung fl. 2.50 (etwa 4 Mark), die Reineinnahme 40% dieser Summe aus dem Reinigungsdienst.

***)) Vergl. hierüber Mittermeyer: Das Heidelberger Tonnensystem, Heidelberg 1876.

nächst und unter den Häusern nach Kräften vorgebeugt. Für welches System man sich entscheiden will, dafür ist natürlich, abgesehen von der spezifischen Disposition eines Untergrunds zur Hegung dieser oder jener miasmatischen Krankheit*), der ästhetische Sinn der Einwohnerschaft und andererseits die Geldfrage maassgebend. Denn die ästhetisch besseren Systeme sind immer die kostspieligeren, und sie verschlingen im günstigsten Fall mindestens die Rente, die ein rohes System bei guter Verwaltung gewähren kann. — Der Wert der Fäkalien wird an manchen Orten durch den Gebrauch des Aräometers kontrolliert.

Wo die Latrinestoffe nicht für die Landwirtschaft Verwendung finden, da bestehen Methoden zu ihrer Unschädlichmachung, welche sich im wesentlichen auf zwei Gesichtspunkte zurückführen lassen; jene gelangen entweder in landwirtschaftlich unbenutzten Boden oder in die Flüsse und von da ins Meer. An sehr vielen Orten ist es üblich, wenn man auch vom sanitätspolizeilichen Standpunkte aus mit aller Macht und mit vollem Rechte dagegen kämpft**), die menschlichen Ausleerungen geradezu in ungemauerte Senkgruben aufzusammeln, von wo aus dann eine ganz unberechenbare Menge der den Boden verunreinigenden Stoffe in diesen einsickert. Nur der nicht versinkende Rest wird gelegentlich abgeführt oder aber die Grube nach Füllung zugeworfen und eine neue gegraben und in Angriff genommen. Dieses System hat, abgesehen vom Geldpunkte, so ziemlich alle Schattenseiten, die sich nur bei der Entfernung der menschlichen Auswurfstoffe denken lassen, obschon ein Teil des Düngerwerts erhalten bleibt und beim Wiederaufgraben der Senklöcher unter Umständen gewonnen werden kann.

An andern Orten und namentlich wo bedeutendere Mittel seitens der städtischen Verwaltung für die Städtereinigung zur Verfügung gestellt werden, besteht sogenannte Kanalisation der Städte, wobei die Auswurfstoffe in unterirdische Kanäle gelangen und gewöhnlich durch fliessendes Wasser weggespült werden. Dieses System, welches je nach der Dichte der Röhrenleitungen und dem Verhältnis der zur Verfügung stehenden Wassermenge in gesundheitlicher Beziehung ein ganz vortreffliches oder auch ein sehr gefährliches sein kann, findet sich ausnahmsweise in manchen nicht

*) In immunen Städten, wie z. B. Lyon, Frankfurt a. M., wird man in dieser Beziehung weniger hohe Anforderungen an die Reinheit des Untergrundes zu stellen brauchen als in berücktigten Cholera- oder Typhusstädten und viel ist davon abhängig, ob gute Wasserleitungen vorhanden oder ob Trinkwasserbrunnen im fraglichen Boden befindlich sind.

**) Allerdings hat dieser Gesichtspunkt vor dem Erscheinen des schnell berühmt gewordenen und schnell vergessenen Nägeli'schen Buches einige Übertreibung erfahren, und der genannte Autor hat ohne Zweifel recht, wenn er darauf hinweist, dass ein mit Unrat aller Art infiltrierter Boden darum kein gesundheitsschädlicher zu sein braucht und vice versa. Aber bei allen den geistreichen Deduktionen des berühmten Physiologen scheint mir, dass er ein Ding übersieht, welches in vielen Fällen entscheidend ist. Die Infiltration des Bodens durch menschliche Auswurfstoffe ist nicht zu fürchten, weil der damit gesättigte Boden den Bakterien eine bessere Nahrung gewährt, sondern weil mit den Ausscheidungen kranker Menschen gefährliche Arten von Bakterien auf diese Weise in den Boden gelangen. Wie sehr Mangel an Reinlichkeit das Wüten der Seuchen unterstützt, das haben wir trotz Nägeli, der ja feuchten Schmutz gerade als ungefährlich rühmt, bei der Choleraepidemie 1884 zu Neapel gesehen.

allzugrossen englischen Städten und neuerdings auch in einigen grossen Städten des Kontinents (Paris, Berlin, Danzig) mit einer Ausnutzung der Düngestoffe für die Landwirtschaft in Verbindung gebracht, indem die mit den Auswurfstoffen beladenen Schmutzwässer zur Überrieselung von Wiesen und auch von Bauland (Gemüse- und Erdbeerkultur) verwendet werden, wodurch wenigstens dem Scheine nach eine Verwertung der gelösten und suspendierten Düngebestandteile für den Pflanzenbau gelingt. In der Regel aber und fast überall, wo in Deutschland dieses System in Anwendung ist, kann die Kanalisation als gleichbedeutend betrachtet werden mit einem völligen Verlust des ganzen Düngerwerts der weggeführten Stoffe für die Landwirtschaft, indem die Kanäle in die Flüsse münden und so die Auswurfstoffe ins Meer gespült werden, von wo aus eine direkte Wiedergewinnung ein Ding der Unmöglichkeit ist.

So ingeniös auch der Gedanke der Verwertung durch Überrieselung genannt werden muss, indem er die Massenaufsammlung der Exkremente, wodurch man der grossen und ängstlichen Mühewaltung einer Abfuhr im einzelnen überhoben wird, mit deren landwirtschaftlichen Nutzung zu vereinigen sucht, so ist doch dessen Verwirklichung gegenwärtig im allgemeinen als sehr schwierig anerkannt*). Ganz abgesehen von den grossen Kosten der betreffenden Anlagen überall, wo nicht geeignete Terrains von der für eine Berieselung nötigen Neigung zur Verfügung stehen, und welche noch durch die Spekulation der umliegenden Grundbesitzer gesteigert zu werden pflegen, stösst man bei grösseren Anlagen auf die Schwierigkeit, dass überhaupt alle benutzbaren Ländereien im Verhältnis zur Produktion des Schmutzwassers viel zu klein sind**), um auch nur die mitgeführten Bestandteile festzuhalten, so dass selbst bei Preisgeben des finanziellen Resultats ungereinigte Wässer in die Flussläufe gelangen. Ausserdem sind Fälle bekannt, wo durch Rieselgras Krankheiten unter dem Vieh und durch die Ausdünstungen selbst Epidemien in den angrenzenden Ortschaften***) aufgetreten sind, von dem schon früher berührten Geschmack so erzielter Gartenfrüchte nach Fäkalien zu geschweigen.

Endlich müssen wir hier eines anderen und technisch sehr vollkommenen Systems gedenken, welches in gewissem Sinne zwischen Abfuhr und Kanalisation zwischeninnesteht. Ich meine natürlich das Liernur'sche System, welches bisher im grössten Maassstabe in Amsterdam durchgeführt worden ist. Dasselbe verbindet die Aborte eines ganzen Komplexes von Häusern mittelst eiserner Röhrenleitungen (die indessen

*) In Berlin scheinen die Resultate neuerdings, seit man den Hanfbau als mächtigen Düngerverwerter herangezogen, viel befriedigendere zu sein.

**) Man hat berechnet, dass, um bei üppigstem Pflanzenwuchs die Exkremente auszunutzen, für je 36 Menschen 1 Hektar Riesellandes nötig wäre, während man bei dergleichen Anlagen in grossen Städten meistens nur ein Zehntel dieser Fläche zur Verfügung hat. Bei diesem Missverhältnis zwischen Zufuhr von Fäkalstoffen und Verbrauch durch die Pflanzen versumpfen die Rieselfelder nach einigen Jahren, die Nitrifikation des zugeführten Stickstoffs steht still und bald fliessen unvollständig gereinigte Abwässer weg und verunreinigen Untergrund und Flussläufe.

***) Vergl. in dieser Beziehung z. B. die Angaben des Betriebsdirektors der Frankfurter Kanalisation, Baist, angeführt in Thoms: Ein Beitrag zur Frage der zweckmässigsten Reinigung der Städte, 1892, p. 28.

mit den nötigen Ventilen versehen sind), so dass die durch eine mässige Wasserspülung fortgeführten Auswurfstoffe in ein gemeinschaftliches eisernes Reservoir gelangen, welches letztere wieder, ehe noch eine weitere Entbindung der Massen eintreten kann, durch Dampfpumpen geleert wird. So sehr die technische Vollkommenheit dieses Systems auch anzuerkennen ist und so befriedigend die Methode in Hinsicht auf die menschliche Gesundheit auch sein mag, so ist dieselbe bisher doch nicht über zwei Übelstände hinweggekommen. Der eine ist die sehr bedeutenden Kosten der Einrichtung, der andere die erhebliche Verdünnung der Fäkalien, welche aus einer vorhin mitgeteilten Analyse erhellt und sich aus der Zulassung einer Wasserspülung erklärt, wodurch eben die gesammelten Massen entwertet werden *). Der letztere Übelstand ist erst später teilweise durch die Fabrikation von schwefelsaurem Ammoniak und Poudrettekuchen, wovon wir noch heute zu reden haben werden, beseitigt worden.

Weiter mögen hier noch einige Desinfektionsmethoden, die zugleich als Konservierungsmethoden der menschlichen Auswurfstoffe unsere Beachtung verdienen, erwähnt werden. Wie aus dieser Ausdrucksweise hervorgeht, haben diese Methoden gerade wie die Einstreu von Gips in die Stallungen einen doppelten Zweck, nur dass bei Behandlung der menschlichen Ausleerungen, entsprechend der weit kostbareren Gesundheit des Menschen und wegen seinen Lebensansprüchen, die sanitärische sowie die ästhetische Seite der Frage mehr in den Vordergrund tritt. Es kann sogar kaum fraglich erscheinen, ob irgend dergleichen Mittel angewendet werden würden, wenn man es nicht der Entfernung des üblen Geruchs wegen thäte, sowie zur Beseitigung schädlicher Miasmen. Allein da dergleichen Mittel gleichzeitig wirklich konservierend auf einige düngenden Bestandteile des Latrineninhalts wirken, so verdienen sie auch hier eine kurze Beachtung.

Von Zusätzen, die zugleich den üblen Geruch der faulenden Exkremente mässigen und konservierend wirken, eben weil die zurückgehaltenen riechenden Stoffe Pflanzennährstoffe sind, ist im wesentlichen des *Eisenvitriols* Erwähnung zu thun, der einmal ganz analog dem Gipse sich mit dem flüchtigen in faulenden Exkrementen vorhandenen kohlensauren Ammoniak zu nicht flüchtigem schwefelsaurem Ammoniak und kohlensaurem Eisenoxydul, das sich dann später zu Eisenoxyd oxydiert, umsetzt und so den stechenden Geruch des Latrineninhalts verhütet und eben hierdurch die Konservierung des Stickstoffgehalts veranlasst, — der andererseits den aus den menschlichen Fäkalmassen (wie aus allen faulenden Proteinstoffen) sich entwickelnden Schwefelwasserstoff, resp. das Schwefelammonium, unter Entstehung von Schwefeleisen bindet und so den Geruch nach diesen Substanzen, der besonders beim Entleeren der Düngergruben empfindlich wird, beseitigt.

Ein solcher Zusatz von Eisenvitriol wird an manchen Orten dem Landwirt, dem man die Grube zum Entleeren überlässt, kontraktlich zur Pflicht gemacht oder von der Polizei angeordnet, mehr weil man die Verminderung des üblen Geruchs auf

*) Aus Amsterdam ist mir die Thatsache bekannt, dass zu derselben Zeit, wo der Landwirt nicht ungeneigt war, für konzentrierten Abtrittdünger sehr anständige Preise anzulegen, man genötigt war, die mit rührender Sorgfalt gesammelten Liernurfäkalien ins Wasser zu werfen, wozu man NB. die städtischen Kanäle in Anspruch nahm.

diese Weise bewirkt, als weil man wirklich unzweifelhafte sanitärische Vorteile dadurch mit Bestimmtheit erreicht hätte. Man ist eben hier wie an vielen Orten geneigt, das greifbare riechende Prinzip mit dem unbekannten miasmatischen Infektionsstoff gewisser ansteckenden Krankheiten zu identifizieren. Allein auch dieser Effekt wird durch das vorgeschriebene oder übliche Verfahren nicht vollständig erreicht, einmal weil die Mischung des gelösten Eisenvitriols mit dem Latrineneinhalt nicht gleich vollständig geschieht, und dann, weil gewisse riechenden Prinzipien, flüchtige organische (wohl der Fettsäurereihe angehörigen) Säuren durch jenen Zusatz nicht unschädlich gemacht werden. Gerade diese Substanzen, deren Anwesenheit man deutlich erkennt, wenn man mit Schwefelsäure angesäuerte Fäkalmassen oder sonst gefaulte Proteinstoffe (wie z. B. die Brühe des gedämpften Knochenmehls) auf dem Wasserbade eindampft, entwickeln einen unbeschreiblich ekelhaften Geruch.

Über den Düngerwert der mit nicht zu grossen Mengen von Eisenvitriol versetzten Latrinestoffe ist zu sagen, dass der Stickstoffgehalt derselben ein etwas grösserer ist, und dass man von der Beimischung des Eisenvitriols im allgemeinen keine schädlichen Wirkungen auf die mit solchem Dünger gedüngten Pflanzen beobachtet hat, so dass auch der Praktiker, der derartigen Zusätzen gewöhnlich ein grosses Misstrauen entgegenbringt, wenigstens nicht übel auf dasselbe zu sprechen ist. Der Eisenvitriol, soweit dieser unzersetzt in die Ackerkrume gelangt, und ebenso das bei dem Verfahren sich bildende Schwefeleisen, obgleich beide als für das Pflanzenwachstum schädliche Stoffe anzusehen sind, scheinen auf einem sonst gut bearbeiteten und der atmosphärischen Luft zugänglichen Boden sich rasch genug zu oxydieren, um keinen bemerklichen Schaden zu thun.

Übrigens lehren neuere Untersuchungen über die Heilung des chlorotischen Zustandes von Kulturgewächsen und besondere zu diesem Zwecke angestellten Düngungsversuche*), dass die Pflanzenwurzel lange nicht so empfindlich gegen Eisenoxydsalze ist, als man früher aus Beobachtungen in versumpften eisenoxydhaltigen Böden zu schliessen sich berechtigt glaubte. Mit Recht wird gerade dem Eisen im Boden, auch abgesehen von seiner Wirksamkeit als Pflanzennährstoff, eine wichtige Rolle zugeschrieben, nämlich die Fähigkeit, als Oxydsalz die Oxydation der organischen Substanz ausserordentlich zu beschleunigen, wobei das Eisen als eine Art von Sauerstoffüberträger gedacht wird. Dass diese Wirkung unter vielen Umständen eine nützliche sein kann, braucht nicht erst besonders hervorgehoben zu werden**).

Ob dagegen die Desinfektionsmethode mit Eisenvitriol (abgesehen von ihrem gesundheitlichen und namentlich ihrem ästhetischen Werte) als Konservierungsmethode eine wirtschaftlich rentable ist, ob die durchschnittliche Erhöhung des Düngerwerts, diese als endgültig festgestellt betrachtet, die Kosten für die Beschaffung des Eisenvitriols deckt, muss mehr als zweifelhaft bleiben. Wenigstens ist man an Orten, wo

*) Solche sind auch seitens der Versuchsstation Wageningen angestellt worden und haben namentlich eine grosse Unempfindlichkeit des Hafers selbst gegen starke Eisenvitrioldüngung ergeben. Vergl. Journ. f. Landw., 40, p. 19.

**) Vergl. über diesen Gegenstand Wicke: Journ. f. Landw., 1864, p. 364. Für Obstbäume und einige anderen Gewächse sind auf Grund von sehr günstigen Erfahrungen neuerdings Eisenvitrioldüngungen empfohlen worden.

diese Desinfektionsmethode lange Jahre bestand, von dem Augenblicke an von derselben abgegangen*), als man durch ein neues Entleerungssystem eine leidlich geruchlose Ausräumung der Düngergruben bewerkstelligen konnte, — eine Thatsache, durch welche die aufgeworfene Frage, eine richtige Beurteilung des Erfolges von seiten der Unternehmer vorausgesetzt, eigentlich schon beantwortet ist.

Die übrigen vorgeschlagenen und angewendeten Desinfektionsmittel haben keine erhebliche landwirtschaftliche Bedeutung oder sind für den Düngerwert der Auswurfstoffe geradezu beeinträchtigend. Dieselben vom gesundheitlichen Gesichtspunkte aus zu beurteilen ist unsere Sache nicht; es ist aber wichtig zu konstatieren, dass dieser Gesichtspunkt häufig mit dem landwirtschaftlichen Interesse in Widerstreit gerät**).

In ziemlich nahem Zusammenhang mit der Konservierung der menschlichen Auswurfstoffe steht die Überführung derselben in eine konzentrierte hantierbare Form, die sog. *Poudrettefabrikation*. Der Zweck dieser Fabrikation liegt auf der Hand. Man will den Stoffen eine grössere Transportfähigkeit geben, um so die Schwierigkeiten, die der landwirtschaftlichen Verwertung annoch im Wege stehen, hinwegzuräumen. In Hauptsache beruht diese Fabrikation auf einer Entwässerung der Fäkalien, doch werden zugleich konservierende Zusätze, wie Sulfate oder Torfklein, häufig nötig. In dem Gelingen derselben liegt die Lösung der grossen Frage nach der zweckmässigsten Weise der Städtereinigung.

So viel mir bekannt, ist aber alle Poudrettefabrikation bislang finanziell daran gescheitert, dass die Kosten, um das Wasser zu verdampfen, noch grösser gewesen sind, als dasselbe mit den nutzbaren Stoffen auf das nächstgelegene Ackerland zu bringen.

*) Z. B. in Karlsruhe beim Übergang zur Entleerung mittelst Saugpumpen.

**) Der *Ätskalk*, der wohl den menschlichen Auswurfstoffen den widerlichsten Geruch nimmt und ihnen eine leicht zu verarbeitende Form erteilt (Mosselmann'sche Methode), erscheint vom Gesichtspunkt der Verwertung als Dünger als ein höchst unzuweckmässiger Zusatz, da eine gewisse Menge des Ammoniaks auf diese Weise in Freiheit gesetzt wird, und hierin liegt auch zum grossen Teil die Ursache der durchgehenden Unbrauchbarkeit der früher auf dieses Verfahren gegründeten Düngerabfuhrsysteme. Der Zusatz von *Karbolsäure*, der vom gesundheitlichen Standpunkt vielleicht am ehesten begründet erscheint, trägt wenigstens nicht das Geringste zu einer Erhöhung der düngenden Wirkung bei — in grösseren Mengen ist er schädlich — obgleich er natürlich die Latrinestoffe unmässig verteuert. Der Zusatz von Torfmull zu den Fäkalien ist der Verwendung von Streu bei Ansammlung der tierischen Auswurfstoffe nachgebildet und erzeugt wie bei dieser eine handliche Düngermasse. Die Methode ist jedoch mit grossen Fuhrkosten verbunden und liefert, wegen der Zumischung, keineswegs einen konzentrierten Handelsdünger, sie ist daher nur für kleinere Städte geeignet. Auch ist die Entfernung des üblen Geruchs keineswegs ganz vollkommen. — Dann muss hier kurz derjenigen Methoden gedacht werden, mittelst welcher abfliessende Kanalwässer durch Zusätze von Manipulationen von den düngenden Bestandteilen befreit werden sollen, so dass auf der einen Seite feste Düngestoffe in konzentrierter und praktikabler Form, auf der andern Seite in sanitärer Beziehung genügsam gereinigte Abflusswässer resultieren. Hierhin gehören freilich nur Methoden, die entweder notorisch in beiderlei Beziehung sehr Ungenügendes leisten, wie die von Süvern (Zusatz von $MgCl_2 + Ca(HO)_2 + \text{Karbolsäure}$) oder der in England geübte A-B-C-Prozess (Zusatz von Alaun, Blut und Kohle [Coal]). Wir sind daher bis jetzt einer ausführlichen Beschreibung dieser Verfahrungsarten überhoben.

Gerade dieses Umstandes wegen ist indessen diejenige Neuerung in der Poudrettefabrikation der Aufmerksamkeit wert, welche auf eine Verdampfung des ganzen Wasserüberschusses verzichtet, sondern nur unter Kalkzusatz das Ammoniak abdestilliert, die löslichen Bestandteile des gekochten Rückstandes aber laufen lässt, während der Rückstand selber, der viel Kalk und etwas Phosphorsäure enthält, als Presskuchen gewonnen werden kann und ebenso wie der Scheideschlamm der Zuckerfabrikation zu Düngungszwecken geeignet ist. Aus dem Ammoniak aber wird wertvolles Sulfat bereitet, ebenso wie aus dem Gaswasser. Derartigen Fabrikationen ist der beste Fortgang zu wünschen, wenn auch vorerst noch einiger Zweifel an der Rentabilität erlaubt sein mag*).

Eine noch direktere und darum finanziell aussichtsvollere Lösung hat die Frage der Poudrettebereitung neuerdings durch das System Podewils, welches seit 1882 in Augsburg durchgeführt ist, erfahren. Die grosse Schwierigkeit des Eintrocknens der Fäkalien beruht nicht allein auf der grossen Menge mittelst Verdampfung zu beseitigenden Wassers, sondern ebenso auf der Zähigkeit, womit das Wasser durch die halbeingedickte breiige Masse festgehalten wird, so dass selbst die Eindickung derselben in Vakuumapparaten nicht zum Ziele führt. Diese Schwierigkeiten sind bei dem Systeme Podewils nun dadurch umgangen, dass man die breiige Masse auf heisse halbringförmigen Platten tröpfeln lässt, über welche kurz nach dem Auftröpfeln eine Art von Messer streicht, welches die eben getrocknete Kruste entfernt. Auf diese Weise scheint, mit Hilfe eines nochmaligen Erhitzens, leicht ein vollkommen lufttrockener Zustand erreicht zu werden**).

Das längere Zeit bestehende Podewils'sche Etablissement in Augsburg scheint zu verbürgen, dass die Frage der Poudrettefabrikation wenigstens unter bestimmten Verhältnissen nunmehr gelöst ist. Aber bei der Beurteilung der Rentabilität ist des Umstandes nicht zu vergessen, dass die erhaltene Poudrette, der sog. Fäkalextrakt, durch Beifügung von Superphosphat oder schwefelsaurem Ammoniak zu Handelsdüngern von festem garantiertem Gehalte (Fäkalguano und Fäkalammoniak-superphosphat) ergänzt wird. So zweckmässig eine derartige Fabrikation einer Ware von reichem und garantiertem Gehalte nun auch sein mag für den regelmässigen Absatz und damit für die Rentabilität der ganzen Untersuchung, so ist doch eben darin eine Schwierigkeit gelegen für die Beurteilung der finanziellen Möglichkeit der Poudrettefabrikation an sich, da ja der erzielte Gewinn z. T. dem schwunghaften Handel in schon vorher produzierten Kunstdüngern zugeschrieben werden kann. Doch ist mir kein Unternehmen bekannt, bei welchem die Aussichten auf eine definitive Lösung der Poudrettefrage so günstig stehen. Die in Augsburg verarbeiteten Fäkalien sind mit Hilfe des vorhin erwähnten Heidelberger Tonnen-systems aber, wie die eben mitgeteilte Analyse lehrt, ohne Wasserspülung gesammelt. Für die grossen Mengen Wasser, womit die Auswurfstoffe bei dem Liernur'schen

*) In Amsterdam besteht eine derartige Einrichtung für die Verarbeitung von Liernur-fäkalien.

**) Vergl. Bochmann u. Agthe: Beschreibung der gegenwärtig zur Reinigung angewendeten Systeme, Riga 1886.

Systeme vermischt werden, würde vermutlich von einer Rentabilität nicht mehr die Rede sein können.

Ist einmal die Frage der Erzeugung eines Handelsdüngers aus menschlichen Fäkalien wenn auch nur lokal gelöst, so ist damit für den betreffenden Ort der Sieg des langen Streites zwischen Abfuhr und Kanalisation zu Gunsten der ersteren entschieden. Bevor dies aber geschehen, wird es in vielen Fällen selbst dem Vertreter landwirtschaftlicher Interessen erlaubt sein, in dem Wegschwemmen von Stoffen, die zur Zeit eben noch keinen Wert besitzen, die einfachere Lösung zu finden und auf eine anderweitige Beseitigung des Defizits an Pflanzennährstoffen, das unter diesen Umständen nicht zu leugnen ist, zu denken, zumal durch neuere und namentlich auch bakteriologische Untersuchungen eine grosse selbstreinigende Kraft des bewegten Wassers der Flüsse nachgewiesen ist, also dass häufig einige Kilometer unterhalb einer Verunreinigung die schädlichen Beimengungen nicht mehr nachzuweisen sind.

Sechste Vorlesung.

Weitere der Landwirtschaft entstammenden Düngemittel. — Natürliche und künstliche Düngemittel.

Wir haben in der vorigen Vorlesung gesehen, dass die menschlichen Exkremente in einem gewissen Sinne ein Supplement bilden zum Stalldünger*).

Die Einsicht in die Unvollständigkeit des Ersatzes durch die reine Stallmistdüngung hat uns zur Erkenntnis der Bedeutung der menschlichen Auswurfstoffe als Düngemittel geführt. Ebenso können wir nun, wenn wir dem früher verfolgten Gedankengang noch einmal mit grösserer Strenge nachgehen, auf eben dieselbe Weise zu der Erkenntnis der Düngbefähigung anderer Substanzen kommen.

Wir haben offenbar, um dieses zu erreichen, nichts zu thun, als uns die Frage vorzulegen: Inwieweit gelangen die Reste der ausgeführten landwirtschaftlichen Stoffe in die Abtrittsgruben oder die stellvertretenden Behälter? — Die Antwort hierauf ist so einfach wie die Frage selbst. Im allgemeinen und mit einer gewissen Regelmässigkeit gelangen nur die menschlichen Auswurfstoffe in die Latrinen. Diese Auswurfstoffe können nur die Reste der wirklich zur Ernährung dienenden ausgeführten landwirtschaftlichen Produkte enthalten. Da aber nicht alle ausgeführten landwirtschaftlichen Produkte verzehrt werden, so kann auch der Abtrittsdünger kein volles Supplement sein zum Stalldünger, obwohl derselbe ja andererseits wieder durch die Ernährung der Menschen mit Fischen und anderen Stoffen, die nicht der Landwirtschaft entstammen, einen Zuschuss erhält. Auch beide zusammen können nicht,

*) Die statische Seite des ganzen Gegenstandes und insbesondere die Frage nach der wirtschaftlichen Rentabilität des zeitlichen Ersatzes wird später von ganz anderen Gesichtspunkten aus eine zusammenhängende Behandlung finden (vergl. die 11. u. 12. Vorlesung).

wenn alle übrigen Quellen der Zufuhr für ein Landgut als versiegt angenommen werden, hinsichtlich der *dauernden Erhaltung* der Fruchtbarkeit der Felder vollkommen das leisten, was die untergepflügte Ernte zu leisten im stande ist oder was auf dem von Menschenhand unberührten Boden stattfinden würde.

Es sind auch mit Leichtigkeit diejenigen Stoffe zu verzeichnen, durch welche jenes noch übrigbleibende Defizit bewirkt wird. Es sind dies die der Technik anheimfallenden landwirtschaftlichen Produkte, der grösste Teil der sogenannten Handelsgewächse, auch ein Teil des Strohs, ferner die Abfälle der als menschliche Nahrungsmittel ausgeführten landwirtschaftlichen Produkte, Haut und Knochen des Schlachtviehs u. s. f. Wir werden nun die natürliche Laufbahn dieser anderen Produkte zu verfolgen haben.

Betrachten wir einmal das Schicksal der sogenannten Handelsgewächse, z. B. der Gespinstpflanzen oder der Tabaksprodukte, die selbstredend Düngebestandteile in sich enthalten. Das Ende der Laufbahn dieser Düngebestandteile ist zwar in den meisten Fällen nicht genau zu verfolgen; denn häufig geraten sie, vermischt mit einer Unmasse anderer Stoffe, in den Strassenkehricht, der unter Umständen selbst mit dem Kloakendünger vereinigt auf das Feld zurückkehrt, oder sie werden in irgend einer anderen Weise verzettelt.

Eine Ausnahme hiervon machen jedoch gewisse Abfälle wie Knochen, Horn, Haare, Haut, Wolle etc. Diese Stoffe, obwohl sie auch vielfach anderer Verwendung unterliegen, werden zu einem grossen Teil in richtiger Erkennung ihres Wertes ein wichtiger Ausgangspunkt für die moderne Düngerfabrikation.

In erster Linie gilt dies für die Knochen; aber auch andere Stoffe, die ihrer Entstehungsweise nach ebenso wie die Knochen mit dem Namen „natürliche Dünger“ belegt zu werden verdienen, wie Hornspäne, altes Leder, Abfälle bei der Leimfabrikation, Wollstaub u. s. w. gehen häufig denselben Weg. Ähnliches gilt auch für manche Abfälle, welche entstehen bei der Verarbeitung einiger pflanzlichen Produkte, wie z. B. Malzkeime, Ölkuchen, die man jedoch in der Regel und namentlich wenn sie vorsichtig (unter Abscheidung grober, unverdaulicher Bestandteile) bereitet sind, mit grösserem Erfolg durch den tierischen Organismus passieren lässt, und sie dann erst als Düngestoffe verwendet.

Wenn wir zunächst die Knochen als Material für die Düngerfabrikation und somit die Zusammensetzung der gereinigten Knochen ins Auge fassen, so ergibt sich sofort, dass nicht alle Pflanzennährstoffe gleichmässig in denselben enthalten sind, dass hauptsächlich von solchen nur Phosphorsäure, Kalk und Stickstoff, letzterer in Form einer den Proteinstoffen nahestehenden Substanz (leimgebendes Gewebe), dieselben zusammensetzen. In der That ist es lediglich der Phosphor- und Stickstoffgehalt, der den Knochenpräparaten einen so hohen Düngerwert verleiht.

Folgendes ist die Zusammensetzung der Knochen in reinem Zustande:

Wasserfreie Knochen von verschiedenen Säugetieren (nach Heintz)*).

Organische Substanz	26,5—30,6%
Knochenasche	69,4—73,5 ,

*) Journ. f. pr. Chemie, 1849, p. 24.

und die Zusammensetzung der Knochenasche ist nach Gabriel*):

Kalk	+51 %
Magnesia	+ 1
Natron	+ 1
Phosphorsäure	+38
Kohlensäure	+ 4,5 .

Der Rest besteht aus Konstitutions- und Krystallwasser und sehr kleinen Mengen von Kali, Fluor und Chlor. Die organische Substanz der Knochen besteht, wie gesagt, wesentlich aus einer stickstoffhaltigen Verbindung, dem sogenannten leimgebenden Gewebe, das beim Kochen in Wasser in Leim übergeht. Dementsprechend enthalten die trockenen gereinigten Knochen 4—5 % Stickstoff. — Verschiedene Teile derselben Knochen sind ungleich reich an stickstoffhaltigen organischen Geweben und die schwammigen Teile, sog. Knochenmark, sind reicher an diesem, daher diese für die Düngerfabrikation besonders geeignet sind, während die festeren Teile mehr zur Fabrikation von Knochenkohle sich eignen.

Die Zusammensetzung der Knochen, wie sie in den Handel kommen, ist jedoch häufig abweichend von der eben angegebenen. Dieselben sind meistens verunreinigt durch Sand, Blut, Sehnen, und selbst Fleischteile, die Hornsubstanz der Klauen und der Hörner sind aus denselben nicht völlig entfernt; sie sind ausserdem wasserhaltig. Diejenigen Knochen, die vorher gekocht worden sind, haben einen Teil ihres Leims und somit ihres Stickstoffs verloren, häufig ist auch diese Substanz durch Fäulnis, teilweise unter Austritt von Stickstoff, zerstört.

So wurden von Völcker mehrere Knochenarten des Handels, die vorher gekocht waren, untersucht und in denselben gefunden, obschon glücklicherweise auch viel reichere Knochen im Handel sind:

Wasser	7,7— 8,1 %
Organische Substanz	25,3—25,4
Phosphorsaure alkal. Erden	43,7—60,5
Kohlensaurer Kalk	3,2 und mehr
Alkalisalze	0,4 und mehr
Sand	2,3—13,5
Stickstoff	1,8— 2,8 .

Die deutlich ersichtliche Verminderung des Stickstoffs ist sehr erklärlich.

Die Knochen werden zum Düngen einmal geradezu als solche verwendet und nur mechanisch zerkleinert, *gestampft*. Man überlässt es in diesem Falle den Einflüssen, denen die Knochensplitter im Boden unterworfen sind, Stickstoff und Phosphorsäure in eine verfügbare Form überzuführen. Die faulende stickstoffhaltige Materie der Knochen selbst trägt unter diesen Umständen augenscheinlich dazu bei, die Phosphorsäure wenigstens vorübergehend löslich zu machen und für deren Verbreitung im Boden zu sorgen, daher halbentleimte Knochen, wie sie aus den Leimfabriken in den Handel kommen, weniger geeignet sind als Düngemittel und besser dienen zu der sogleich zu besprechenden Behandlung mit Schwefelsäure. Übrigens

*) Zeitschr. f. physiol. Chemie, 18, p. 297.

ist jene infolge des schwach basischen Charakters der Phosphate auch an sich löslicher als gewöhnliches Tricalciumphosphat*). Die so gepulverten und ohne weiteres als Düngemittel verwendeten Knochen, welche unter dem Namen „rohes Knochenmehl“ in den Handel gelangen, enthalten nach den Erfahrungen bei den Düngerkontrollen 21—24 % Phosphorsäure und 3—4 % Stickstoff.

Trotzdem, dass also dieses Knochenmehl als ein seinem Ursprung nach durchaus natürliches Düngemittel erscheint, so ist doch dessen Zusammensetzung und seine Düngebefähigung eine einseitige, da wir es in ihm mit einem Bestandteil des tierischen Körpers zu thun haben, in welchem sich nur einige wenigen Stoffgruppen zusammengefunden haben, während andere ganz ausgeschlossen geblieben sind. Die Wirksamkeit muss dementsprechend keine ganz allgemeine, sondern eine sich mehr in gewissen Fällen geltendmachende sein, nämlich da, wo es im Boden zu einer gewissen Kultur an Stickstoff und Phosphorsäure fehlt. Allein, da gerade diese beiden Bestandteile diejenigen sind, an denen gemeiniglich am ersten im Boden Mangel entsteht, so ist doch die Wirksamkeit eine regelmässiger und allgemeinere, als man auf den ersten Blick glauben sollte. — Die raschere oder langsamere Wirksamkeit des rohen Knochenmehls hängt dann wesentlich von seiner grösseren oder geringeren Feinheit ab**). Der günstigen Zusammensetzung wegen ist man auch schon frühzeitig auf dem Wege der Erfahrung zur Verwendung der zerkleinerten Knochen in der Landwirtschaft gekommen; so wenigstens in England, während in Deutschland hierin von seiten der Theorie ein Anstoss gegeben worden ist.

Eine weit höhere Bedeutung für die praktische Landwirtschaft als das rohe, chemisch noch unveränderte Knochenmehl haben einige Produkte, welche aus den Knochen dargestellt werden. Eines dieser Produkte ist, abgesehen von seiner weitgehenden praktischen Bedeutung, schon deshalb von Interesse, weil seine Darstellung ein Beispiel eines grossen praktischen Erfolgs der wissenschaftlichen Erkenntnis vom Wesen der Pflanzenernährung ist.

Die hervorragendsten dieser Fabrikate sind: *das gedämpfte Knochenmehl* und *das Knochenmehlsuperphosphat*. Ersteres wird dargestellt, indem man die Knochen in verschlossenen eisernen Behältern unter erheblichem Druck mit Wasserdampf (4 Atm.) mehrere Stunden in Berührung lässt. Die Knochen werden durch diese Behandlung so mürbe — jedenfalls infolge der unter diesen Umständen eintretenden Veränderung des leimgebenden Gewebes —, dass ihre Zerkleinerung alsdann viel leichter von statten geht als die der unveränderten Knochensubstanz, die ihrer Zähigkeit wegen ausserordentlich schwierig zu zermahlen ist. In der That ist das

*) Siehe hierüber Gabriel: a. a. O., p. 288. Obschon die von diesem zum Ausziehen der org. Substanz verwendete Glycerinkalilauge auch die Konstitution der Knochenasche alteriert haben kann.

**) Merkwürdigerweise sind nach Mitteilungen von Düngstoffabrikanten in einigen Gegenden von England die grösseren Knochenmehle beliebter, vielleicht aber nur, weil sich in ihnen Ursprung und Qualität des Rohmaterials durch das Ansehen konstatieren lassen und im anderen Falle die Beimischung von Phosphoritpulver befürchtet wird. Eine solide Düngerkontrolle dürfte hierfür ein besseres Mittel sein. Vergl. übrigens über ähnliche praktische Urteile P. Wagner: Einige praktisch wichtige Düngungsfragen, p. 62. Dasselbst finden sich theoretische Betrachtungen über die Richtigkeit dieses Urteils in betreff der Verteilung der Superphosphate.

Knochenmehl, das nun durch mechanische Zertrümmerung der so behandelten Knochen entsteht, beinahe immer viel feiner als das „rohe Knochenmehl“. Die intensivere Wirksamkeit des gedämpften Knochenmehls lässt sich daher einerseits auf diese feinere Verteilung zurückführen; andererseits allerdings muss auch der durch den Prozess des Dämpfens veränderten organischen Substanz an sich eine höhere Zersetzungsfähigkeit zugeschrieben werden. Der Stickstoff derselben wird auf diese Weise für die Pflanze schneller verfügbar, und infolge dieser beiden Veränderungen wird auch die Phosphorsäure des Knochenmehls zugänglicher. Eine weitere vorteilhafte Veränderung des gedämpften Knochenmehls, welche sich indessen auch für das rohe erreichen lässt, ist die Entfernung des Fetts, das durch seine Anwesenheit in den Knochen deren Zersetzung ausserordentlich verlangsamt, wahrscheinlich weil so Gelegenheit gegeben ist zur Bildung von Kalkseifen, welche die übrigen Teile einhüllen. Aus den zerstampften Knochen lässt sich das Fett durch Kochen mit angesäuertem Wasser, besser noch im geschlossenen Extraktionsapparate mittelst Benzin bei gesteigertem Drucke entfernen und geht diese Manipulation dem eigentlichen Dämpfen voraus. Die gesammelte Fettmasse dient für technische Zwecke, z. B. für die Seifenfabrikation.

Im Gegensatze zu der besseren Feinheit und Verfügbarkeit seiner Pflanzennährstoffe ist der absolute Stickstoffgehalt des gedämpften Knochenmehls durchweg ein geringerer ($2\frac{1}{2}$ — $3\frac{1}{2}\%$) als der des rohen, und wenn das erstere, auch hinsichtlich des Stickstoffs, als ein rascher wirkendes Düngemittel als jenes auftritt, so ist eben diese Thatsache recht dazu geeignet, die zugängliche Form des ersteren zu demonstrieren. Der Phosphorsäuregehalt beider ist annähernd derselbe.

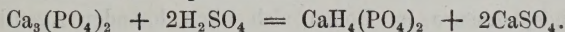
Das gedämpfte Knochenmehl hat sich in der Praxis als ein brauchbares Düngemittel sehr bewährt und fast an allen Orten das rohe Knochenmehl in den Hintergrund gedrängt. Dasselbe wird zu allen möglichen Kulturen, vorzüglich aber auf leichten Böden zu Getreide verwendet, welches nach einer Knochenmehldüngung in einem etwas ausgebauten Boden eine reichlichere Körnerernte zu geben pflegt, wie dies ja aus früher besprochenen Gesichtspunkten leicht begreiflich erscheint. Gerühmt muss dabei namentlich werden die lange Nachwirkung der in dieser Form gegebenen Phosphorsäure, so dass, wenn auch die ersterlangten Resultate nicht immer glänzend sind, bei fortgesetzter Düngung mit demselben Düngemittel die Sicherheit der Erträge sehr zu steigen pflegt.

Was die Verfügbarkeit des Knochenmehlstickstoffs angeht, so steht dieselbe nach vergleichenden Versuchen in der Mitte zwischen Blutmehl, dessen Eiweissstoffe leichter zersetzbar erscheinen, und den Hornstoff enthaltenden Abfällen, wie Haare, Wolle, Federn, selbst wenn diese durch vorausgehendes Erhitzen leichter zersetzlich gemacht sind. Am schwersten zersetzbar von allen stickstoffhaltigen Stoffen ist das Leder, welches ja künstlich durch den Prozess des Gerbens widerstandsfähig gemacht ist, so dass, wenn man die hauptsächlichlichen stickstoffhaltigen Düngestoffe in eine Reihe nach ihrer Zugänglichkeit für die Pflanze ordnet, dieselbe sich ungefähr wie folgt gestaltet*):

*) Vergl. Petermann: Bull. d. l. station agron. de Gembloux, Nr. 36.

Salpeter,
 Ammoniak,
 Amidostoffe,
 Blut,
 gedämpftes Knochenmehl,
 rohes Knochenmehl,
 Wolle und Haare, durch Erhitzen vorbereitet,
 do. roh,
 Leder.

Das *Knochenmehlsuperphosphat* andererseits wird dargestellt durch Einwirkung von Schwefelsäure, früher auch wohl Salzsäure*) auf Knochenmehl in den Verhältnissen, dass der in den Knochen vorhandene dreibasische phosphorsaure Kalk möglichst vollständig in den leichtlöslichen einbasischen phosphorsauren Kalk übergeführt wird**), während andererseits Gips entsteht.



Da ausser dreibasisch phosphorsaurem Kalke auch ein wenig kohlenaurer oder nach der Hypothese eines neuen Untersuchers etwas ungesättigter Kalk in den Knochen anwesend ist, muss im Verhältnis etwas mehr (nach dem Äquivalentverhältnis zu berechnen) Schwefelsäure genommen werden. Wo sich Schwefelsäurefabriken in der Nähe befinden, wird vielfach die sogenannte *Kammersäure*, die nur etwas verdünnter ist wie die sogenannte englische Schwefelsäure, aber (wegen der ersparten Kondensationskosten) sehr viel wohlfeiler, benutzt.

Das Aufschliessen des Knochenmehls mit Säure bezweckt, die Phosphorsäure der Pflanzenwurzel leichter zugänglich zu machen, und diese Absicht wird, wie die praktischen Düngungsergebnisse mit dem Superphosphat lehren, auch völlig erreicht. Es muss freilich hinzugesetzt werden, dass man zu jener Zeit***), wo der Vorschlag zu dieser Behandlung des Knochenmehls gemacht wurde, noch eine sehr unvollständige

*) In neuerer Zeit ist die Verwendung der Salzsäure zu diesem Zwecke ganz und gar aufgegeben worden, trotz der grösseren Wohlfeilheit dieses chemischen Produktes, weil man mehr und mehr die Nachteile kennen gelernt hat, welche die Anwesenheit von Chlorcalcium im Boden zur Folge hat. Vergl. B. I, p. 274. So ist z. B. in den Eichhorn'schen Versuchen auch die nachteilige Wirkung von mit Salzsäure aufgeschlossenen Knochenmehlen auf Zucker- und Stärkegehalt von Rüben und Kartoffeln deutlich hervorgetreten. Vergl. Pr. Annal. der Landw., 1866, p. 270, u. Jahresber. f. Agrik.-Chemie, 1866, p. 276.

**) Vergl. über die Verbindungen, welche bei Aufschliessung des dreibasisch phosphorsauren Kalks durch Mineralsäuren entstehen, und über die Wirkung der resultierenden Verbindungen aufeinander die ältere Arbeit von Jones: Annal. d. Landw. Montsbl., 1870, XII, p. 305 und die neueren Untersuchungen von Stoklasa: Die wasserlöslichen Verbindungen der Phosphorsäure in den Superphosphaten, Prag 1894.

***). Der Vorschlag der Verwendung gelöster phosphorsauren Salze (Abfallprodukte der Knochenleimfabriken) zur Düngung ist zuerst von Liebig in den ersten Auflagen seiner „Organischen Chemie u. s. w.“ (p. 243) gemacht worden. — Die älteste Angabe zur Darstellung eigentlicher Superphosphate scheint die von Gill (Polytechn. Journal, B. 111, p. 309) im Jahre 1848 zu sein; doch rührt das Patent von Lawes zur Darstellung von Superphosphaten aus dem Jahre 1842 her, und wurde von demselben seit 1843 mit der Produktion im grossen begonnen.

Vorstellung von dem Verhalten der Düngestoffe im Boden hatte, dass man damals vielmehr von dem Grundsatz ausging, alles für die Pflanzen Verfügbare müsse in fertigen Bodenlösungen vorhanden sein, mit andern Worten keine Ahnung von den Absorptionsvorgängen besass. — Heute wissen wir, dass fast die ganze durch das Aufschliessen in Lösung übergeführte Phosphorsäure, mit einer Ackererde von normaler Zusammensetzung in Berührung gebracht, infolge der Einwirkung von kohlensaurem Kalke und, ist dieser nicht vorhanden, von basischen Eisenoxydsalzen wieder nach kurzer Zeit in den unlöslichen (wenn auch zunächst in einen von grösserer Löslichkeit) Zustand zurückgeführt wird, und es könnte auf den ersten Blick erscheinen, als ob die ganze Operation der Löslichmachung nutzlos gewesen sei. Allein schon der Hinblick auf die praktischen Erfolge dieser Methode, die durch zahllose Düngungsversuche ausser allen Zweifel gestellt sind und ebenso durch die hervorragende Rolle der Superphosphate auf dem Düngermarkt belegt werden, lehrt uns, dass dies unmöglich richtig sein kann. Eine etwas aufmerksamere Überlegung zeigt sodann, dass die ungelöste Phosphorsäure im Boden sich allen lösenden Agentien und so auch den Wurzeln gegenüber sehr verschieden verhalten muss, je nach ihrer Verteilung daselbst, ganz abgesehen von der näheren chemischen Form, auf welche wir später zu sprechen kommen werden. Eine andere Verteilung findet augenscheinlich statt, wenn die ungelöste Phosphorsäure in verhältnismässig doch immer groben Knochenstückchen — eine andere, wenn sie aus einer Lösung niedergeschlagen, äusserst gleichmässig, wie es eben nur auf chemischem Wege zu erreichen ist, in allen den Substanzen vorhanden ist, welche bei ihrer Fällung mitgewirkt haben. Dieselbe Vorstellung kann auch für das analoge Verhalten bei anderen Pflanzennahrungsstoffen dienen.

Das *Knochenmehlsuperphosphat*, dessen Phosphorsäure in einem für das Pflanzenwachstum weit zugänglicheren Zustande vorhanden ist als die des rohen und sogar als die des gedämpften Knochenmehls, hat dagegen eine geringere absolute Menge an diesem düngenden Bestandteile und dabei seine Bedeutung als Stickstoffdünger fast ganz und gar eingebüsst. Die grosse absolute Stickstoffarmut aller seiner Zeit in den Handel gelangenden sogenannten Knochenmehlsuperphosphate, welche weit grösser ist, als der Verdünnung durch den Säurezusatz entsprechen würde, lässt sich nur so erklären, dass auch zu den unter diesem Namen passierenden Produkten in der Fabrikation viele anderen phosphorsäurereichen und stickstoffarmen Materialien, welche wir bald kennen lernen werden, mitbenutzt wurden, wie denn namentlich seit der Zeit, wo solche Materialien in grossen Mengen und zu billigen Preisen zur Verfügung stehen, die Verarbeitung des eigentlichen Knochenmehls zu Superphosphaten als für die Düngerfabrikanten (aber darum noch nicht für die Landwirte) unrentabel ganz in den Hintergrund getreten ist, um so mehr als die Wertbestimmung der Superphosphate allein nach der (leichtlöslichen) Phosphorsäure geschieht.

Diese Verhältnisse und die günstigen Resultate, welche man bei vergleichungsweisen Düngungsversuchen mit gedämpftem Knochenmehl und Superphosphat manchmal zu Gunsten des erstern erhalten hat, liessen lange die Verarbeitung der Knochen zu gedämpftem Knochenmehl am rationellsten erscheinen*), da auch alle übrigen

*) Die Reaktion gegen den Gebrauch von Knochenmehl rührt hauptsächlich her von vergleichungsweise ungünstigem Verhalten der darin enthaltenen Phosphorsäure bei Düngungs-

Verarbeitungsmethoden dieses Düngermaterials aus einem oder dem andern Grunde sich keinen Eingang zu schaffen vermocht haben. Als solche sind hier nur zu erwähnen ausser dem schon erwähnten *Fermentieren der Knochen mit Jauche**)): das hiermit verwandte *Kompostieren des Knochenmehls***), welche Methoden sehr empfohlen werden und der Verwendung des rohen Knochenmehls auch jedenfalls vorzuziehen sind; ferner *das Aufschliessen der Knochen durch Alkalilauge*. Dasselbe hat höchstens eine ganz lokale Bedeutung für Gegenden, wo Holzasche zu billigen Preisen zu haben ist, da ein erhebliches Aufschliessen der Knochenerde im chemischen Sinne dabei gar nicht stattfindet.

Doch kann es heute, nachdem durch genaue Topfversuche die Nützlichkeit des Aufschliessens mit Schwefelsäure ausser Zweifel gestellt ist, keinem Zweifel mehr unterliegen, dass das weniger günstige Urteil über gelöste Knochenmehle mehr auf die vielfältige Verfälschung derselben durch Mineralsuperphosphate als auf die Überflüssigkeit der Behandlung mit Schwefelsäure zu setzen ist. In neuerer Zeit wurde seitens der Versuchsstation zu Halle ein unvollständiges Aufschliessen des Knochenmehls mittelst Schwefelsäure empfohlen. Dabei wird nicht Monocalcium, sondern Bicalciumphosphat erhalten, welches jedoch für die Pflanzenwurzeln durchaus zugänglich ist und bei genügender Verteilung häufig dieselbe Düngewirkung zeigt wie jenes.

Knochenasche, welche wohl von Südamerika aus, wo in den technischen Etablissements der Fleischextraktfabrikation beim Fehlen an anderen Brennmaterien häufig mit Knochen geheizt wird, in den Düngerhandel gelangt, besitzt von kostbareren Pflanzennahrungsmitteln natürlich nur Phosphorsäure, da der Stickstoff, welcher in der organischen Substanz vorhanden war, mit dieser beim Einäscherungsprozesse verloren gegangen ist. Ganz dasselbe lässt sich auch von der *Knochenkohle* sagen, welche als Abfall der Zuckerfabriken und zwar in sehr viel erheblicherem Maassstabe als die Knochenasche in den Düngerhandel gelangt. Für diese Stoffe, welche keinen Stickstoff mehr enthalten, ist nun, wie für die grosse Reihe ähnlich zusammengesetzter Düngermaterialien, das Aufschliessen durch Schwefelsäure am Platze, und diese Operation geschieht auch allgemein. Die Superphosphate aus Knochenkohle bilden sogar einen erheblichen Bruchteil der Superphosphate überhaupt.

Die Knochenpräparate haben also, wie wir gesehen haben, eine sehr ausgedehnte Anwendung als Düngemittel; allein da ihnen einerseits die Befähigung zur physikalischen Verbesserung des Bodens abgeht, da sie andererseits eine sehr einseitige Zusammensetzung besitzen und nicht einmal als intensive Stickstoffdünger zu betrachten versuchen von Wagner und Märcker in Töpfen, während die praktische Erfahrung ausgedehnter Landstriche, besonders Westfalens und Ostpreussens, namentlich auf nicht allzu phosphorsäurearmen Böden der Verwendung desselben recht günstig ist. Worauf dieser Widerspruch beruht, ist noch nicht völlig aufgeklärt. Vergl. hierüber G. Thoms: 17. Bericht, 1884, p. 34 u. f.

*) Bei diesem Verfahren treten jedoch, wenn nicht besondere Vorsichtsmaassregeln, Bedeckung mit Erde (vergl. Ulbricht: Jahresber. f. Agrik.-Chemie, 1864, p. 224) angewendet werden, erhebliche Verluste an Stickstoff ein.

**) Über Kompostieren des Knochenmehls vergl. Pr. Ann. der Landw., 1870, Nr. 33; Landw. Centralbl., 1872, I, p. 215.

sind, so spielen sie doch eben nur die Rolle von Hilfsdüngemitteln. Die Superphosphate werden vom Praktiker hauptsächlich für Klee*), Getreide, Zuckerrüben, Kartoffeln, Raps, Stoppelrüben, aber auch für sehr viele anderen Pflanzen empfohlen, natürlich vorzüglich für solche, die einen grösseren Phosphorsäurereichtum im Boden voraussetzen.

Die Superphosphate vertreten, wie schon aus früher Gesagtem sich ergibt, ferner die leichter verfügbare, aber auch die leichter erschöpfbare Form einer Phosphorsäuredüngung, während das gedämpfte Knochenmehl an diesem selben Nährstoff kleinere, aber andauerndere Quellen zur Verfügung stellt**). Daher die Regel: die Superphosphate zur Frühlingsdüngung, die Knochenmehle zur Herbstdüngung zu verwenden***). Aus demselben Grunde werden die Superphosphate auch auf den schweren Bodenarten von grossem Absorptionsvermögen und ebenso auf den kalkreichen Böden vorgezogen, während die Knochenmehle, wie schon gesagt, Specifica für den leichten Boden sind. Superphosphate und Knochenmehle sind beide durch Untereggen oder besser Pflügen, am besten 14 Tage vor der Aussaat†), dem Boden einzuverleiben und nicht als Kopfdüngung zu gebrauchen.

Die verschiedenen Knochenpräparate sind jedenfalls das wichtigste Glied derjenigen Düngestoffe, welche ihrem Ursprung nach zu den natürlichen Düngern gerechnet werden müssen und doch dem Stallmist und den menschlichen Auswurfstoffen entgangen sind. Alle übrigen tierischen und pflanzlichen Abfälle, die wie Malzkeime, Treber, Leder-, Haar-††) und Wollabfälle, getrocknetes Blut u. s. w. gelegentlich eine ähnliche Rolle als Düngemittel spielen, übergehen wir wegen ihrer untergeordneten Bedeutung hier mit Stillschweigen und begnügen uns zu bemerken, dass man in jedem einzelnen Falle aus den Angaben über ihre Zusammensetzung sich ein hinlängliches Bild von ihrer Wirksamkeit wird machen können. Nur zweier Abfälle der Zuckerfabrikation müssen wir hier gedenken, weil dieselben der grossen Ausdehnung dieses landwirtschaftlichen Gewerbes wegen auch eine bedeutendere Rolle spielen als anderes Hierhingehörige. Ich meine den mittelst Kalk erzeugten Scheidenschlamm (Schuimaarde holl.), für welchen wir durch Analysen zu Wageningen den folgenden Gehalt ermittelten:

Stickstoff	Phosphorsäure	Kali	Kalk (grossenteils Carbonat)
0,2 %	0,6 %	Spuren	26.

Sodann entfällt in neuerer Zeit aus der Melasse ein Beiprodukt, unreines salzsaures Trimethylamin, welches nach damit angestellten Düngungsversuchen sich für

*) In den holländischen Provinzen Noordbrabant und Zeeland wird das Superphosphat geradezu Kleeguanó genannt.

**) Übrigens ist auch die Phosphorsäure des Superphosphats nicht so rasch verbraucht, und ist auch von dieser eine Nachwirkung auf die zweite und dritte Frucht zu erwarten. Vergl. hierüber P. Wagner: Einige praktisch wichtige Düngungsfragen, 1884, S. 44.

***)) Auch andere Abfälle von Knochen bei der Leimfabrikation, z. B. das durch Kalk erzielte Präzipitat aus der Lösung der Knochenerde in Salzsäure, dienen vielfach der Düngerefabrikation. Die Behandlung solcher Spezialitäten würde uns zu weit führen. Vergl. hierüber namentlich das Lehrbuch der Düngerefabrikation von P. Wagner, 1877.

†) Vergl. Thoms: 14. Bericht der Versuchsstation Riga, 1891, p. 11.

††) Die Haare einer Gerberei enthielten im unreinen, mit Kalk gemengten Zustande 6,7 % Stickstoff (Jahresber. f. Agrikulturchemie, 3, p. 185).

die Kopfdüngung von Hafer als ebenso brauchbar erwies wie die entsprechende Menge Ammoniaksulfat*). Im übrigen kann es natürlich nicht unsere Aufgabe sein, den Düngerwert aller möglichen Abfallstoffe auf Grund ihrer Zusammensetzung hier zu besprechen, um so weniger, als wir in einer der folgenden Vorlesungen beabsichtigen, allgemeine Gesichtspunkte aufzustellen, nach welchen es leicht gelingen wird, alle möglichen Stoffe hinsichtlich ihrer Brauchbarkeit aus deren für jeden speziellen Fall auszuführenden Analyse zu beurteilen.

Wir gehen in unseren Betrachtungen vielmehr jetzt über zu den sogenannten künstlichen Düngern.

Sowie man unter *absoluten* oder *natürlichen Düngern* alle diejenigen zur Bodenverbesserung geeigneten Stoffe versteht, welche ihrer Entstehungsweise nach eine ähnliche Zusammensetzung haben und vorzugsweise ähnliche Zersetzungsprodukte nach ihrer Einverleibung in die Ackererde liefern müssen, wie die Stoffe, die wir durch unsere Ernten dem Boden entziehen, so versteht man unter *relativen Düngern* solche zur Bodenverbesserung geeigneten Stoffe, bei denen dieses nicht der Fall ist. Dieselben heissen auch künstliche Dünger, weil zu deren Anwendung eine entwickelte Wissenschaft (Kunst) erforderlich gewesen ist. Künstlich fabriziert sind sie ja lange nicht alle.

Es ist nach der eben ausgesprochenen Definition durchaus selbstverständlich, dass diesen künstlichen Düngern keine so allgemeine Wirkung in Bezug auf die Erzielung eines Mehrertrages zukommen kann, wie wir sie als charakteristisch für die natürlichen Dünger haben erkennen müssen. Diese letzteren werden vermöge ihrer Zusammensetzung nur auf sehr reichen Ländereien keine Mehrerträge geben können, auf Ländereien, wo eben schon das Mögliche in Pflanzenproduktion geleistet wird, wo nicht mehr die Nährstoffe der Pflanzen im Minimum vorhanden sind, sondern wo jene ewig feststehenden, durch Menschenhand nicht zu ändernden Bedingungen des Pflanzenwachstums infolge ihres beschränkten Vorhandenseins der Produktion eine unverrückbare Grenze setzen.

Ganz anders muss es mit der Wirksamkeit der künstlichen Dünger bestellt sein. Diese sind der Natur ihrer Entstehungsweise nach an sich oder bei ihrer Zersetzung noch nicht befähigt, einer Pflanze alle die zu deren Aufbau notwendigen Stoffe, soweit sie dieselben aus dem Boden bezieht, ziemlich gleichmässig zur Verfügung zu stellen; sondern diese enthalten eben nur gewisse Nährstoffe in sich, oder sie vermögen solche bei ihrer Verwesung in der Ackererde zu erzeugen. Die Folge davon muss sein, dass sie auf manchen Äckern ganz ausserordentlich grosse Wirkungen hervorzubringen vermögen, auf andern dagegen — und ohne dass diese durchweg in einem reicheren Düngungszustande sich zu befinden brauchen — nicht den geringsten Mehrertrag zu erzeugen im Stande sind.

Diese Wirkungsweise ist nun durchaus selbstverständlich für einen jeden, der die Anfangsgründe der Pflanzenernährung inne hat und beachtet, dass der Überschuss eines Pflanzennährstoffs wie überhaupt jeder Vegetationsbedingung über das Verhältnis hinaus, wie sie alle zur Produktion zusammenwirken, unmöglich in Wirksamkeit

*) Vergl. die Mitteilung von v. Eckenbrecher auf der Naturforscherversammlung zu Magdeburg 1884.

treten kann — einfach deshalb, weil eben eine jede dieser Bedingungen gleich notwendig zur Gesamtleistung und unvertretbar durch andere Bedingungen ist. Wenn wir jedoch zusehen, welchen Einfluss ein solches Verhalten gewisser Düngestoffe auf deren praktische Anwendbarkeit so lange haben musste, als man noch mit der Theorie der Pflanzenernährung nicht vertraut war, die komplexe Düngermasse noch nicht in einzelne wirksame Faktoren begrifflich zu trennen verstand und darauf angewiesen war, die Brauchbarkeit eines Düngestoffes lediglich nach vereinzelter Beobachtung auf dem Felde zu beurteilen, so kommen wir sehr leicht zu der Einsicht, dass die so nach einzelnen Beobachtungen festgestellten Wirkungswerte je nach der Beschaffenheit der Felder ausserordentlich voneinander abweichen mussten, dass man unter Umständen weit mehr ungünstige Resultate erhielt als günstige, ohne im Stande zu sein, sich Rechenschaft von einem so ungleichartigen Verhalten zu geben, und dass auf diese Weise solche Düngestoffe im allgemeinen bei dem Empiriker in Misskredit kommen mussten. Für diese Düngemittel war also eine Theorie der Pflanzenernährung notwendig, welche ihre Anwendung regelte oder den praktischen Düngungsversuch wenigstens in die richtigen Bahnen wies.

Aber noch mehr. Die Theorie war ausserdem dazu notwendig, um Stoffe, die möglicherweise sich als Dünger brauchbar erweisen konnten, aufzusuchen. Offenbar wäre es für den praktischen Landwirt, auch in dem Fall, dass er durch den Düngungsversuch allein zu einem Urteil gelangen könnte über die Anwendbarkeit irgend eines Stoffes als Dünger, ein ganz hoffnungsloses Unternehmen, alle möglichen Stoffe der Erdoberfläche auf ihre Düngefähigkeit wiederholt durchzuprüfen, und es ist in hohem Grade vorteilhaft für die Landwirtschaft, dass man auch andere Mittel besitzt, die Fähigkeit eines Stoffes, als Dünger zu dienen, festzustellen. Ein solches Mittel ist nun aber die chemische Analyse, die ihrerseits nur wieder zu diesem Zwecke angewendet werden kann, weil wir eine Theorie der Pflanzenernährung besitzen, weil wir wissen, welche einzelnen chemisch definierbaren Stoffe notwendig sind, um einen Boden zu einem baufähigen zu machen.

Aus diesen Betrachtungen erhellt, wie die Erkenntnis der Anwendbarkeit gewisser Stoffe als Düngemittel durchaus eine ausgebildete Theorie der Pflanzenernährung voraussetzt, wie eine Anzahl von unter gewissen Umständen vorzüglichen Düngemitteln der praktischen Landwirtschaft ganz unbekannt bleiben musste, bis die Chemie in den Dienst der Landwirtschaft trat.

Das eben Gesagte gilt nun natürlich in noch viel höherem Grade von denjenigen Düngemitteln, die sich nicht in direkt anwendbarer Form vorfinden, zu deren Darstellung aus natürlichen Produkten eine Reihe von mehr oder minder komplizierten Manipulationen erforderlich ist, *da hier vollends durch das Probieren in den Tag hinein voraussichtlich gar nichts erreicht werden könnte*. Solche fabrikmässig dargestellten Düngemittel werden also in erster Linie zu den künstlichen gezählt werden müssen. In diesem Sinne gehören auch die Knochenmehlpräparate zu den künstlichen Düngern, wohin sie denn in der That gerechnet werden, während umgekehrt die sogleich zu besprechenden Tange und Plaggen, ja selbst der Perugano insofern zu den natürlichen Düngern gerechnet werden können, als ohne alle Theorie deren Anwendung auf der Hand lag. Eine Grenze ist nicht scharf zu ziehen, wie über-

haupt die Einteilung in künstliche und natürliche Dünger mehr einen historischen als einen praktischen Wert hat und daher von ausschliesslich der Praxis zugewendeten Geistern gern vermieden wird.

Eine weitere Einteilung der künstlichen Düngemittel ergibt sich dann sehr einfach gerade wegen der Verschiedenheit ihrer Entstehung und Zusammensetzung *nach den einzelnen Bestandteilen, die sie vorwiegend enthalten* und die sie zu ihrer relativen Wirksamkeit befähigen. Es werden aber nicht alle einzelnen Pflanzennährstoffe als Einteilungsprinzip benutzt werden können, sondern nur die, welche durch die Kultur eine erhebliche Verminderung erleiden und sparsam in der Ackererde vorhanden sind. Diese Stoffe sind Stickstoff, Phosphorsäure und Kali, dieselben, auf die wir bisher schon in erster Linie Rücksicht genommen haben, so dass man zweckmässig zwischen *stickstoff-, phosphor- und kalireichen Spezialdüngern* unterscheidet.

Die künstlichen Düngemittel sind ferner entweder ihrem Ursprung nach völlig unorganischer Natur, d. h. sie finden sich an irgend einem Ort der Erde durch irgend einen geologischen Prozess angehäuft oder sie sind nachweisbar tierische und pflanzliche Reste, nur eben keine Produkte, welche durch landwirtschaftliche Thätigkeit entstehen, sondern die durch natürlich verlaufende Prozesse ohne Zuthun des Menschen ins Dasein gerufen werden. Im letzteren Falle nähern sie sich der Entstehungsweise der natürlichen Dünger und haben daher, wenn sie noch durch sekundäre Prozesse keine tiefgreifenden Veränderungen erlitten haben, auch eine häufig mit solchen koincidierende Zusammensetzung, so dass, wie wir oben hervorgehoben haben, eine Art von Übergang besteht zu den eigentlichen natürlichen Düngern. Wir werden zuerst diese Sorte von Düngemitteln betrachten.

Für alle die nun zu behandelnden Düngemittel lässt sich weiter etwas ganz Allgemeines behaupten — und wir werden später von dieser Behauptung Nutzen ziehen —, dass nämlich ihre Zufuhr auf den Acker gerade das Umgekehrte bewirken muss wie die reine Stallmistwirtschaft, für die in fast allen Fällen ein kleiner, jedoch stetiger Verlust an Pflanzennährstoffen nachgewiesen werden kann. Die Quellen jenes Defizits haben wir ausführlich besprochen und haben gesehen, dass sie sich ohne Zuschuss von aussen wohl vermindern, nicht leicht aber vollständig werden verstopfen lassen. Hier lernen wir Quellen des Zuwachses kennen, infolge deren fremde Düngestoffe Bestandteile der Ackerkrume werden. Es wird von Wichtigkeit sein, sich darüber klar zu werden, ob diese Quellen reichlich genug fliessen oder wenigstens zu einem so reichlichen Fliessen veranlasst werden können, dass dadurch jener Verlust gedeckt werden kann.

Trotz dieses tiefgreifenden Unterschiedes vom Standpunkte der Ersatzlehre aus zwischen dem Teil der Düngestoffe, den wir schon behandelt haben, und dem Teil, den wir noch behandeln müssen, setzen wir also unsere Übersicht fort und beginnen zunächst mit der Betrachtung derjenigen nicht der Landwirtschaft entstammenden Düngemittel, die mehr oder weniger veränderte tierische oder pflanzliche Produkte sind. Sie bestehen aus auf unkultiviertem Terrain wachsenden Pflanzen, aus den Leibern auf unkultiviertem Terrain sich ernährenden Tiere und aus den Exkrementen solcher Tiere.

In die erste Kategorie gehören Meeresalgen und die z. B. auf den Heiden wild wachsenden Pflanzen, welche bei der sogenannten Plaggenwirtschaft als Düngematerial dienen u. s. f.

Eine grosse Anzahl von *Meeresalgen* und *Tangen* und anderen Seegewächsen findet in der Landwirtschaft schon seit undenklichen Zeiten Verwendung. Schriftsteller*) der Alten erwähnen dieser Art von Düngung ganz ausdrücklich; jetzt hat sie z. B. an den Küsten Frankreichs und Italiens**) eine erhebliche Ausdehnung. Die hauptsächlich verwendeten Arten sollen den Fucoideen und Florideen angehören. Was die Zusammensetzung solcher zur Düngung verwendeten Meeresalgen betrifft, so kann die folgende Analyse, welche auf der Versuchsstation zu Wageningen ausgeführt wurde, zur Orientierung dienen. Am Strande der Nordsee aufgelesene Algen enthielten im lufttrockenen Zustand***):

Wasser	11,8 %
Organ. u. flüchtige Subst.	70,2
darin Stickstoff	0,89 %
Aschenbestandteile	18,0
darunter Phosphorsäure	0,14
„ Kali	0,72
„ kohlensaurer Kalk	1,1
Chlornatrium	7
Sand	4,4 .

Von anderer Seite ist Kali und Phosphorsäuregehalt höher gefunden worden†).

Bei der Düngung selbst sollen aber niemals die reinen, an Kali und Stickstoff ziemlich reichen Algen zur Verwendung kommen, sondern dieselben werden zusammen mit einer grossen Menge von in denselben nistenden oder zufällig an denselben haftenden Seetieren gesammelt, weshalb man sich den Düngerwert jener noch beträchtlich gesteigert denken darf.

Aus der mitgetheilten durchschnittlichen Zusammensetzung der Meeresalgen ist trotzdem ersichtlich, dass die mit denselben gegebene Düngung in Bezug auf unsere meisten Kulturgewächse eine etwas einseitige ist. Der Kaligehalt erscheint neben dem Phosphorsäuregehalt dem pflanzlichen Ursprunge entsprechend, auch wenn dies Verhältnis durch Beimengung einer beträchtlichen Menge von stickstoff- und phosphorsäurereichen Seetieren (Seesterne, Garnaten, Fische) etwas abgeändert wird; ausserordentlich gross, und thatsächlich wird die Beimengung von Knochenmehl zu

*) Palladius, de re rustica, I, p. 33. „Der Auswurf des Meeres ersetzt, ist er mit süssem Wasser ausgewaschen, mit andern Dungsurrogaten die Stelle des Düngers“ nach Heiden: Düngerlehre, II, p. 415.

**) Sestini: Journ. d'agricult. pract., 1875, p. 388.

***) Blondeau (Journ. f. pr. Chem., B. 98, p. 249) hat aus dem Seetang eine Substanz (das Goëmin) gewonnen, die in heissem Wasser löslich ist, beim Erkalten aber geleeartig erstarrt und 21,36 % Stickstoff, also mehr als die Proteinkörper enthält. Vergl. auch über Düngung mit Tangen Bergstrand: Annal. d. Landw., 1872, p. 423.

†) Vergl. Landw. Presse, 1894, Nr. 94.

jenem Dünger, namentlich wenn man, wie dies sehr zweckmässig erscheint, Kompost aus demselben bereitet, lebhaft empfohlen.

Es muss bei diesen wie bei andern dem Meere abgewonnenen Düngestoffen auf den grossen Kochsalzgehalt derselben aufmerksam gemacht werden, welcher unter Umständen die direkte Anwendung der Stoffe verbietet. In der Asche der Meeresalgen ist bis ein Viertel und sogar bis ein Drittel und mehr Kochsalz enthalten, und da man gerade in der Nähe von Meeresküsten, wo jene Düngestoffe allein Verwendung finden, von Kochsalzdüngungen niemals nützliche, häufig aber schädliche Wirkungen erwarten darf, so ist das Auswaschen jener Stoffe mit Wasser, das schon in alter Zeit üblich gewesen zu sein scheint, welches beim Kompostieren übrigens ja ganz von selbst geschieht, zu empfehlen.

Neben dieser Verwendung von Meerespflanzen zur Düngung unserer Ackerfelder haben wir der Verwendung von *wildwachsenden Pflanzen*, wie dies bei der sogenannten *Plaggenwirtschaft* geschieht, Erwähnung gethan.

Diese eigentümliche Bewirtschaftungsmethode, die auf den grossen Heideflächen Norddeutschlands und Hollands üblich ist, ist schon bei Besprechung der Streuarten berührt worden. Da die Menge der Pflanzennährstoffe in dem Boden eine verhältnismässig so geringe ist, dass unsere Kulturgewächse in demselben kaum fortgebracht werden können, so sucht man jene auf eine billige Weise zu konzentrieren. Dem einzelnen Landwirte oder Kolonisten stehen gewöhnlich verhältnismässig grosse Bodenflächen zu einer solchen Konzentrierung zur Verfügung, während er nur ein kleines Stück seiner Ländereien wirklich bebaut. Den grossen nicht angebauten Bodenflächen werden nun die Nährstoffe einmal auf diese Weise entzogen, dass man sie durch grosse Schafherden beweiden lässt, deren im Stall fallenden Dünger man sammelt und auf die zu kultivierenden Felder verteilt. Soweit gehört das System nicht in das in Rede stehende Kapitel.

Gleichzeitig werden nun aber auch jene grossen Heideflächen periodisch der auf ihnen sich bildenden Pflanzenprodukte auf die Weise beraubt, dass man sie, wie wir dies am Rasen zu sehen gewohnt sind, in einzelne „Plaggen“ sticht, diese Plaggen dann in den Schafställen, auch den Kuhställen, als Einstreu benutzt und abwartet, bis sich eine neue Pflanzendecke gebildet hat, und so fortfährt. Auf diese Weise wird dann thatsächlich eine solche Konzentration der wirksamen Bodenbestandteile erzielt, dass man zu einzelnen Feldern von leidlicher Fruchtbarkeit gelangt*).

Hierhin gehört dann auch die Verwendung der *Holzasche*, welche schon in sehr alter Zeit zur Düngung von Feldern benutzt worden ist und nur deshalb jetzt mehr und mehr ihre Bedeutung als Düngemittel verliert, weil ihre Verwendung in der Technik eine ausgebreitete ist und die Landwirtschaft wegen des geringen

*) Vergl. übrigens die ungünstige Schilderung, welche von Schorlemmer (Annal. d. Landw., B. 46, p. 30, und Jahresber. der Agrikulturchemie, 1865, p. 243) von der Plaggenwirtschaft macht — eine Meinung, die im allgemeinen auch von holländischen Sachverständigen geteilt wird. Namentlich scheint abgeplaggtter Boden nur mit grosser Schwierigkeit zur Waldkultur herangezogen werden zu können, während dieselbe auf unberührter Heide durchgängig Vorteile abwirft. Vergl. auch A. Salfeld: Die Kultur der Heideflächen Nordwest-Deutschlands, 1882.

Preises, den sie für ihre Düngermaterialien zu bezahlen im Stande ist, nirgends die ernstliche Konkurrenz mit den übrigen Produktionszweigen hinsichtlich eines Rohstoffes auszuhalten vermag. Die Holzasche entstammt dem Boden eines zur Zeit forstwirtschaftlich bewirtschafteten Grundstücks und kann insofern von der Landwirtschaft als ein Zuschuss von aussen angesehen werden.

Werfen wir aber einen kurzen Blick auf die nähere Zusammensetzung der Holzasche.

In 100 Teilen reiner wasserfreier Asche der folgenden Holzarten sind enthalten*):

	<i>Kali.</i>	<i>Kalk.</i>	<i>Magnesia.</i>	<i>Phosphorsäure.</i>	<i>Schwefelsäure.</i>
<i>Buche</i>	20—30 %	25—40 %	+10 %	8—14 %	+2 %
<i>Eiche</i>	25—35	18—25	+16	12—20	+2
<i>Birke</i>	15—20	20—30	+13	8—12	+1
<i>Kiefer</i>	+13	+45	+8	+7	+3
<i>Fichte</i>	12—20	+25	+8	+2	+3.

Der allgemeine Charakter der Holzaschen ist trotz der nach einzelnen Analysen und Holzarten sehr wechselnden Zusammensetzung ziemlich deutlich aus einer solchen Zusammenstellung zu erkennen. Der verhältnismässig grosse Kali- und Kalkreichtum ist beinahe für alle in die Augen fallend; und so sehen wir sie denn auch als Dünger für Pflanzen angewendet, welche zu ihrem Gedeihen vorzüglich eine grosse Kalimenge im Boden voraussetzen; das sind namentlich Wiesengräser und sonstige Futtergewächse. Besonders wird die Anwendung der Asche von den Praktikern auf sauren Wiesen empfohlen, welche schlechte Gräser und Moose hervorbringen und auf denen sie ausser düngend auch neutralisierend wirken. An Stelle dieser sieht man nach Aschendüngung wie durch einen Zauberschlag alsbald Kleearten auftreten, welche man vorher gar nicht wahrgenommen hatte.

Übrigens würde man sich einer starken Täuschung hingeben, wollte man annehmen, dass alle im Handel noch vorkommenden Aschensorten in ihrer Zusammensetzung den eben mitgeteilten Analysen entsprechen müssten. Ganz abgesehen von absichtlicher Beimengung von Torf- und Steinkohlenasche sind die Aschen oft um vieles minderhaltig, so dass man sich bei jedem Ankauf, wenn man der Erzeugungsweise nicht ganz gewiss ist, durch Analyse überzeugen muss, was man in Händen hat. Als Maassstab für den Wert bei einer solchen Analyse möchte ich aus Gründen, die sogleich noch deutlicher erscheinen werden, den Kaligehalt empfehlen. Eine Hauptursache des Mindergehalts ist nämlich das noch vielfach übliche Flößen der Hölzer, und es ist schon lange gezeigt worden, dass bei der Auslaugung durch Wasser besonders der Kaligehalt des Holzes leidet**). So wurde an der Versuchstation zu Wageningen Asche von Fichtenspänen untersucht, die, wie ich später erfuhr, von Norwegen entstammten und wovon das Holz geflösst worden war, dabei wurde ein Gehalt konstatiert:

*) Nach den Angaben von E. Wolf: Aschenanalyse, 1880, p. 68 u. f.

**) Man vergl. die Aschenanalysen von J. Schröder:

	<i>Kali.</i>	<i>Natron.</i>	<i>Kalk.</i>	<i>Magnesia.</i>	<i>Phosphorsäure.</i>
Fichtenholz ursprünglich	21 %	1,7 %	32 %	13 %	1,3 %
„ ausgelaut	6,6 „	2,7 „	36 „	16 „	1,1 „

von	Kali	kohlens. Kalk	Phosphorsäure
	2,4 %	13,6 %	1,0 %.

Dies ist gegenüber dem zu erwartenden Gehalte ein solcher Ausfall an Pflanzennährstoffen, dass diese Erfahrung wohl geeignet ist, zu einiger Vorsicht anzumahnen.

In gewöhnlicher, unverfälschter Holzasche kann man etwa einen Gehalt von 7—10% Kali und 1—3% Phosphorsäure annehmen*).

An Orten, wo die Asche selbst durch die Ansprüche der Technik der landwirtschaftlichen Benutzung entrückt wird, kann häufig die sogenannte *Abasche*, der Auslaugungsrückstand nach der Pottaschegewinnung aus derselben, an Stelle jener benutzt werden. Diese *Abasche* ist nun freilich sehr viel kaliärmer, dennoch ist nicht alles Kali aus derselben entfernt, da ein Teil des kohlensauren Kalis durch Bildung eines ziemlich unlöslichen Doppelsalzes mit dem kohlensauren Kalk vor Auslaugung geschützt bleibt. Dann kommen in solchen *Abaschen*, wie man sie aus Seifensiedereien und Bleichereien erhält, die anderen wirksamen Bestandteile, wie namentlich die Phosphorsäure, relativ mehr zur Geltung, wodurch sie den Charakter eines einseitig wirkenden Düngemittels beinahe einbüßen.

Neben der Holzasche ist dann der *Torf*-, der *Braunkohlen*- und *Steinkohlen*-*asche* wenigstens Erwähnung zu thun. Der Torf hat je nach seiner Entstehungsweise eine so ausserordentlich verschiedene Aschenzusammensetzung**), dass sich nichts Allgemeines über die Rolle der Torfasche als Düngemittel sagen lässt, ausser etwa, dass sie in der Regel weniger wertvoll als Holzasche und dass ein ziemlicher Gipsgehalt für sie charakteristisch zu sein scheint, weswegen sie wohl zur Einstreu in Stallungen empfohlen worden ist. Die *Braun*- und *Steinkohlenasche* endlich ist so arm an Kali und an Phosphorsäure, dass sie nur einen ganz geringen Düngewert besitzt; ihre Hauptbestandteile sind Kalk, Eisenoxyd, Schwefelsäure und Kieselsäure. P. Wagner fand in Steinkohlenasche 1,3 % Kali und 2,0% Phosphorsäure***); wir selbst in der feingesiebten Asche von Ruhrkohlen 1 % Kali und 0,6 % Phosphorsäure. Also auch hier grosse Schwankungen, aber im ganzen gegenüber der Torfasche doch ein Minderwert. Dabei ist zu bemerken, dass die zusammengesmolzenen (schlackenartigen) Teile der Steinkohlenasche noch ärmer gefunden wurden an Pflanzennährstoffen, und da diese ausserdem reich an das Pflanzenleben schädigenden Stoffen (Calciumsulfid) sind, so ist es immer notwendig, diese Teile

*) Vergl. Jahresber. f. Agrik.-Chem., 16 u. 17, p. 64.

**) Heiden giebt auch (Düngerlehre, II, p. 230) für die Zusammensetzung der Torfasche eine Zusammenstellung von Analysen, nach welcher der Gehalt an Kali variiert zwischen 0,85—3,64%, an Kalk von 5,81—45,73%, an Magnesia von einer Spur—24,36%, an Phosphorsäure von 1,43—6,29% u. s. f. An der Versuchstation zu Wageningen haben wir für Asche von holländischem (aus Drenthe) Torf gefunden 3,1% Phosphorsäure und 1,1% Kali, ferner 6,8% Magnesia und 13% Kalk. Noch verschiedener ist der Gehalt des Torfs an Asche überhaupt, nach Nessler (Düngerlehre, Mannheim 1868, p. 46) 1—13%. Derselbe giebt weiter an (ebenda), dass der Torf, welcher die geringste Aschenmenge enthielte, also hauptsächlich zum Brennen Verwendung fände, die als Düngemittel wertvollste Asche gäbe, — ein Wink von erheblicher praktischen Bedeutung.

***)) Centralbl. f. Agrik.-Chem., 1876, p. 173. Vergl. auch Jahresber. f. Agrik.-Chem., 16 u. 17, p. 65.

abzusieben und lieber nur die feinen Teile zur Düngung zu verwenden. Aber selbst diese lässt man lieber einige Zeit an der Luft liegen — am besten wird die Feinasche irgend welchen Komposten einverleibt —, ehe sie dem Boden übergeben wird. Unterlässt man diese Vorsichtsmaassregeln anzuwenden und verwendet z. B. ungesiebte frische Asche von Steinkohlen in Pflanzlöchern von Bäumen, so kann dadurch selbst das Leben dieser gefährdet werden.

Neben den verschiedenen Sorten von Aschen verdient hier auch der *Schornsteinruss* einer kurzen Erwähnung, dessen Kohlenstoff allerdings gleichgültig ist für die Pflanzenernährung, der aber infolge dieses ziemlich fein verteilten Kohlenstoffs eine ganz beträchtliche Menge von Ammoniak (daneben auch noch Stickstoff in unbekannter Form) aus den Rauchgasen absorbiert enthält. Die Aschenbestandteile des Russes sind von geringerem Gewicht, da unter ihnen Kalk, von der Mauerung der Schornsteine herrührend, vorherrscht. Doch ist in demselben der Kaligehalt infolge von bei der Verbrennung mitgerissener Asche nicht ganz unbedeutend.

Russ von Torffeuerung wird am höchsten geschätzt. Ich habe in solchem einmal 2,8% Stickstoff in der Form von Ammoniak gefunden. Steinkohlenruss muss nach praktischer Erfahrung und der Zusammensetzung des Grundstoffs entsprechend viel ärmer sein. Der Russ dient am besten zu einer Kopfdüngung im Frühjahr bei Wintergetreide, dessen Wachstum beschleunigt werden soll (etwa um die durch Auswinterung entstandenen Lücken durch reichlichere Bestockung wieder auszufüllen), und hat dabei die angenehme Nebenwirkung, infolge seiner eigentümlichen Geruchsstoffe Insekten fernzuhalten. Auch die schwarze Farbe kann für die Bodenerwärmung von Bedeutung sein.

Siebente Vorlesung.

Die sogenannten künstlichen Düngemittel des Handels. Düngemittel tierischen Ursprungs. — Die phosphorsäurereichen Handelsdünger.

Wir haben heute zunächst diejenigen Düngestoffe abzuhandeln, die ihrer Masse nach aus Leibern von nicht gehegten Tieren bestehen. Derartige Düngestoffe fangen in neuerer Zeit an, in ganz grossartigem Maassstab Verwendung zu finden, und dieselben haben ohne allen Zweifel bei weiterer Intensivierung unserer Betriebsmethoden eine noch grössere Zukunft. In erster Linie haben wir hier vom *Fischguano* und ähnlichen den Meeren abgewonnenen tierischen Produkten zu reden. Ein Teil dieser Stoffe sind ursprünglich Abfälle des Fischfangs, also entweder ganz zufällig mitgefangene, als Nahrungsmittel wertlose Fische und andere Seetiere, die man früher, ehe ihr Düngerwert so hoch gestiegen war oder man denselben erkannt hatte, ins Meer zurückzuwerfen pflegte, oder die bei der Zubereitung solcher Seetiere (für die Versendung) entfernten Teile derselben, z. B. Abfälle aus Heringssalzereien. Später fing man an, solche Stoffe direkt (hauptsächlich Auflesen am Strand) zu gewinnen,

nachdem man einmal jene Erfahrung gemacht hatte. So wird an der französischen und belgischen Küste der Nordsee die Mischung von Muschelschalen und Seesternen unter dem Namen „Coquilles animalisées“ zur Düngung verwendet.

Die Produkte, welche man jedoch hauptsächlich mit dem Namen Fischguano belegt, werden in neuerer Zeit eigens zum Zweck der Düngung im grossen dargestellt und weithin verschickt. So besteht zu Concarneau bei Brest in der Bretagne eine Fabrik, die sich damit beschäftigt, die Überbleibsel von der Zubereitung der Sardellen zu einem transportablen Dünger zu verarbeiten. An den englischen Küsten werden ähnliche Düngemittel aus Sprotten und Heringen bereitet, die man eigens zu dem Zwecke fängt. Ebenso werden in einer oldenburgischen Fabrik zu Varel die Garnaten (*Cragon vulgaris*, *crevettes*) zu einem künstlichen Dünger verarbeitet und in Neufundland die Abfälle des Kabliaufangs nach geeigneter Präparation als Dünger nach Frankreich geschickt. Auf den norwegischen Lofoteninseln und in vielen andern Teilen Norwegens dienen die Abfälle des Dorschfangs zur Fischguanofabrikation, und es werden so in 13 grösseren Fabriken Produkte erzielt, die in erster Linie für den deutschen Düngemarkt berücksichtigt zu werden verdienen. Ausserdem existiert noch eine Anzahl von Fischguanofabrikationen in andern Ländern, z. B. in Ostpreussen, Portugal, Helgoland*).

Diese Fischguanosorten sind nun ihrer Zusammensetzung nach ausserordentlich verschieden. Der Phosphorsäuregehalt schwankt von 13—16 %, der Stickstoffgehalt etwa von 5—12% **), während der Kaligehalt ein ziemlich geringer ist und meistens unter 1 % zu betragen scheint***). Der Wassergehalt ist natürlich gering, 10—12 % und niemals 20 % übersteigend. Über die Hälfte dagegen ist gewöhnlich organische Substanz.

In trockenen Seesternen (*Asterias rubens*) von der Nordsee sind nach einer Wageningen Analyse anwesend:

Wasser	1,8 %
Org. u. flücht. Substanz	35,5
darin Stickstoff	1,9 %
Aschenbestandteile	62,7
davon Phosphorsäure	0,45
„ Kali	0,16
„ Chlornatrium	0,4
„ Sand	16,8
und viel kohlensaurer Kalk.	

Die Zusammensetzung ist also viel ungünstiger als von Fischguano.

*) Viele dieser Angaben verdanke ich Heiden's Düngerlehre, II, p. 281 u. f. Weitere Details in der 2. Aufl., p. 396 u. f.

**) Ganz ausnahmsweise kommen noch stickstoffärmere Sorten vor. Der mittlere Stickstoffgehalt der zu Wageningen untersuchten Sorten war 7 %, Phosphorsäuregehalt etwa 11 %, und ein ähnlicher Gehalt wird in dem norwegischen Guano garantiert.

***) Zur näheren Orientierung in den verschiedenen Fischguanosorten mögen folgende Angaben dienen: Sehr phosphorsäurereich wurden bisher gefunden alle norwegischen Fischguanos, welche in neuerer Zeit analysiert wurden, ferner der Helgoländer Guano und der Garnatguano

Hinsichtlich des Ursprungs des Fischguanos ist hier nochmals hervorzuheben, dass wir es in allen diesen Düngemitteln mit Stoffen zu thun haben, durch deren Anwendung in der Landwirtschaft derselben ein Zuschuss erwächst, welcher geeignet ist, das mehrbesprochene Defizit zu vermindern. Es ist schon hier ersichtlich, dass die durch Verspülung der menschlichen Exkremente ins Meer gelangten Stoffe nicht unwiederbringlich für die Ackerfelder verloren sind, dass es wenigstens Mittel giebt, die den Wiedergewinn solcher Stoffe aus dem Meere ermöglichen.

In der gleichen Kategorie von Düngemitteln ist dann natürlich auch das der Fleischextraktfabrikation (Fray-Bentos, Australien) entstammende *Fleischmehl* zu erwähnen, eine Substanz, welche naturgemäss äusserst stickstoffreich ist und nur durch den Extraktionsprozess an phosphorsauren Salzen eine grosse Einbusse erlitten hat und darum mit Knochenmehl vermengt in den Handel kommt. Als Düngemittel müssen diese Rückstände mit ihren etwa 6 % Stickstoff und jetzt gewöhnlich 13 % Phosphorsäure dem Fischguano nahegestellt werden. Man hat jedoch gefunden, dass diese Stoffe als Schweinemastfutter Verwendung und natürlich eine höhere Nutzung finden können, was in beschränkterem Grade auch von manchen Fischguanosorten gilt.

Als Düngemittel stehen beide, Fleischmehl und Fischguano, dem gedämpften Knochenmehle nahe, nur dass man natürlich den höheren Stickstoffgehalt, den niedrigeren Phosphorsäuregehalt im Auge zu halten hat. Sie werden wie jenes zu allen möglichen Kulturen, aber mit Vorliebe auf leichten Bodenarten gebraucht und können mit Vorteil schon im Herbst selbst für ein Sommergewächs ausgestreut werden. Bei beiden hat man auf Feinpulverigkeit und gehöriges Unterpflügen zu achten, weil durch den Geruch angelockt sonst Krähen und Katzen die ausgestreuten Stückchen aufwühlen und ausserdem die Wirksamkeit des Düngers sich nicht auf grosse Abstände erstreckt, derselbe mithin an die Stelle gebracht werden muss, wo die Pflanzenwurzeln sich entwickeln.

An die eben von uns behandelte Kategorie von Düngestoffen reihen sich nun noch die *Exkremente* von wildlebenden Tieren an, insofern solche Exkremente sich in grösseren Massen ansammeln und abgebaut werden können. Der sogenannte *Fledermausguano*, welcher in dieser Kategorie zu nennen ist, besteht einfach aus den Exkrementen der Fledermäuse und findet sich häufig in grösseren Massen in Höhlen angehäuft, ohne dass freilich diesem zuweilen sehr stickstoffhaltigen Düngemittel *) eine weitgehende Bedeutung zukommen kann.

In einem italienischen noch feuchten Guano dieser Art wurde gefunden 2 % Stickstoff, 1,2 % Phosphorsäure, während an der Versuchsstation zu Wageningen u. a. eine javanische Sorte analysiert wurde, die zu einem grossen Teile aus den Chitineresten der verschiedensten Insekten bestand und folgende Zusammensetzung zeigte:

mit Knochenmehlzusatz; sehr phosphorsäurearm dagegen die englischen, neufundländischen Sorten, der portugiesische Fischguano und der Garnatguano ohne Knochenmehlzusatz. Die stickstoffreichsten Sorten sind der französische Fischguano, der Garnatguano, die norwegischen und ostpreussischen Produkte; sehr stickstoffarm wurde bisher nur der portugiesische gefunden.

*) Vergl. Annal. der Chem. u. Pharm., B. 155, p. 348; Jahresber. f. Agrikulturchemie, VIII, p. 253; auch die späteren Jahresberichte.

Stickstoff	7,2 %
Phosphorsäure	3,4
Kali	1,7
Gesamtasche	20,6

bei allerdings nur 22 % Feuchtigkeit.

Von ganz hervorragender wirtschaftlicher Bedeutung sind dagegen diejenigen *Guanosorten, welche aus den Auswurfstoffen von Seevögeln hervorgegangen sind* und sich auf einer Reihe von Inseln im Ocean nach und nach bis zu ungeheuren Massen angesammelt haben und deren wichtigster Repräsentant bis jetzt der *Perugano* gewesen ist.

Man muss, um die Möglichkeit einer solchen Ansammlung durch kaum berechenbare und jedenfalls sehr lange Zeiten hindurch zu verstehen, die eigentümlichen klimatischen Bedingungen berücksichtigen, welche in den Gegenden herrschen, wo wir jene kolossalen Aufspeicherungen sonst so leicht zersetzbarer Stoffe vorfinden; denn es kann ja keinem Zweifel unterliegen, dass z. B. bei unsern klimatischen Verhältnissen etwas dergleichen eine reine Unmöglichkeit wäre. Sehen wir ja selbst die an sich weit weniger zersetzbaren Exkremente der Tiere unserer Umgebung, den Einflüssen der Witterung in vollem Maasse ausgesetzt, nach kurzer Zeit ihre wesentlichsten düngenden Bestandteile und damit ihre Befähigung, als Dünger dienen zu können, fast ganz einbüßen.

Die klimatische Voraussetzung zur Ablagerung und Konservierung grosser Massen von tierischen Auswurfstoffen in nur wenig verändertem Zustande ist der vollkommene Mangel an Regen an einem solchen Orte, und nur da, wo diese unerlässliche Bedingung erfüllt ist, nehmen wir jene grossartigen Ansammlungen von natürlichem Guano wahr. Wo wir an Orten, für welche diese Voraussetzung nicht zutrifft, Ablagerungen von Stoffen antreffen, welche ähnlichen Ursprungs sind und auch mit dem Namen Guano belegt werden, da haben wir es auch regelmässig mit Substanzen zu thun, die ihre ursprüngliche Zusammensetzung eingebüsst haben, ganz einseitig wirkende Düngemittel geworden sind und nicht zur Gruppe des berühmten Peruganos gehören.

Für die Guanosorten der regenlosen Zone*) ist der Ursprung leicht nachzuweisen. Auf den Inseln oder Küstenstrichen, wo wir diese Ablagerungen antreffen, nisten noch heute Seevögel (namentlich Pinguarten), und in den abgelagerten Schichten finden wir alle möglichen Anhaltspunkte dafür vor, dass sie grösstenteils den Exkrementen, zuweilen auch den Eiern, Leichen dieser Tiere ihre Entstehung verdanken. Wir haben schon in einer früheren Vorlesung die Auswurfstoffe einiger körnerfressenden Vögel (Tauben, Hühner) als verhältnismässig konzentriert und stickstoffreich kennen gelernt. Für die Exkremente fleischfressender Vögel, welche die Guanoinseln bewohnen, tritt wiederum dieser Nahrung entsprechend der Stickstoff-

*) Boussingault berichtet, dass, als er zu Payta an der peruanischen Küste war, es dort seit 17 Jahren nicht geregnet hatte; in Chochope wird ein Regen vom Jahre 1726 als historisches Ereignis verzeichnet; vergl. *Compt. rend.*, T. 51, p. 844. Ebenda weitere Angaben über das Vorkommen des Guanos. — Die ausführlichsten Zusammenstellungen indessen über diesen Gegenstand in desselben: *Agronomie etc.*, T. III, 1864, p. 94—148, und neuerdings bei J. Seyffart: *Landw. Versuchsst.*, B. 17, p. 445.

und Phosphorsäuregehalt noch viel mehr in den Vordergrund; dazu trocknen in der Sonnenglut der dortigen Himmelsstriche die gefallenen breiigen, schon an sich wasserarmen Auswurfstoffe rasch aus, ehe noch die Harnsäure, in welcher Form fast aller aus dem Blute ausgeschiedene Stickstoff in dem Harn der Vögel und Reptilien vorhanden ist, Gelegenheit findet, mit einiger Vollständigkeit die ihr eigentümliche Zersetzung zu erleiden. Man braucht sich nun bloss an den schon an sich hohen Stickstoffgehalt des Fleisches wie überhaupt des ganzen tierischen Körpers zu erinnern und im Auge zu behalten, dass die Fleischfresser, welche sich ausschliesslich von diesen Stoffen ernähren, dabei einen grossen Teil der organischen Substanz zerstören, den Stickstoff aber und die Aschenbestandteile wieder vollständig ausgeben, um eine Vorstellung vom Stickstoffreichtum der abgeschiedenen Exkremente solcher Tiere zu gewinnen. In der That hat man auch in den Exkrementen der Adler ausserordentlich grosse Massen Stickstoff gefunden. Die Trockensubstanz dieser Auswurfstoffe scheint nach einigen Angaben (wohl mit etwas Übertreibung) beinahe ganz und gar aus Harnsäure zu bestehen.

Die hierhergehörigen Guanosorten zeigen gegenwärtig (nachdem die stickstoffreichsten Massen abgebaut) ungefähr folgende Zusammensetzung:

	<i>Peruguano.</i>	<i>Ichaboequano.</i>	<i>Ägyptischer Guano.</i>
Organische Substanz [und Ammoniaksalze]	45 %	17,5—44,3 %	39 %
Stickstoff	5—8	3,1—9,1	11
Phosphorsäure	15	+7	9
Kali	2	+3	—

Der noch immer erhebliche Stickstoffreichtum der Guanosorten dieser Gruppen ist deutlich aus den angeführten Analysen zu ersehen; desgleichen der hohe Gehalt an Phosphorsäure, welche sich auch hier wiederum als eine treue Begleiterin jenes erweist. Die meisten dieser Guanosorten zeigen auch nicht unerhebliche Mengen von Kali, jedoch weitaus zurücktretend gegen die beiden andern düngenden Bestandteile, für welche jene als Spezialdünger anzusehen sind.

In Bezug auf die chemische Form, in welcher der Stickstoff in diesen Guanosorten vorhanden ist, lässt sich sagen, dass diese eine durchaus für das Pflanzenwachstum rasch zugängliche ist. Man hat, abgesehen von der praktischen Erfahrung, die dies in unzweideutigster Weise lehrt, besonders den Peruguano, der von den angeführten Düngestoffen wegen der Bauwürdigkeit seiner Lager von weitaus der grössten Bedeutung ist, hinsichtlich der chemischen Natur seiner stickstoffhaltigen Bestandteile ganz eingehenden Untersuchungen unterworfen, aus denen genau dasselbe hervorgeht.

Beinahe die Hälfte der Substanz des Peruguanos besteht nämlich aus in Wasser leicht löslichen Stoffen, und unter diesen wiegt harnsaures und oxalsaures Ammoniak vor. Es ist leicht verständlich, wie diese Substanzen in den Guano gelangen, da wir wissen, dass die Oxalsäure unter bestimmten Umständen ein Spaltungsprodukt der Harnsäure ist, welche letztere wie gesagt das normale stickstoffhaltige Endprodukt des Stoffwechsels der Vögel darstellt. Wir müssen uns daher Oxalsäure sowohl als

das Ammoniak als Zersetzungsprodukte der Harnsäure*) denken. Der unlösliche Teil des Guanos besteht dann wesentlich aus noch unzersetzter Harnsäure und aus phosphorsaurem Kalk. Ausserdem kommt noch ein kleiner Teil des Stickstoffs im Guano in Form einer organischen Base, als Guanin, vor.

Was die Phosphorsäure angeht, so ist dieselbe, wenn auch nur zum kleinsten Teile, in direkt löslicher, dann doch in für die Pflanzenwurzel ziemlich verfügbarer Form anwesend. In dieser Richtung wirkt die schon beim Knochenmehl besprochene innige Durchmischung mit sich später zersetzender organischen Substanz und dann weiter die günstige chemische Form, als welche neben dem schwerlöslichen Tricalciumphosphat erhebliche Mengen von bibasischem Phosphate aus der Berechnung der Zusammensetzung sich ergeben. Doch hat man sich früher in dieser Beziehung zuweilen übertriebenen Vorstellungen hingegeben.

Ich habe gesagt, dass dieses Ergebnis der chemischen Untersuchung des Guanos auch für dessen brauchbare Form als Düngemittel und für dessen rasche Wirkung spricht, denn einmal müssen die bis dahin durch Mangel an Wasser verhinderten Zersetzungsvorgänge nun rasch vor sich gehen, wenn der Guano unter plötzlich veränderten Bedingungen in die feuchte Ackererde gelangt. Es müssen dann schnell die eigentlichen stickstoffhaltigen Pflanzennährstoffe entstehen, andererseits ein grosser Teil der Aschenbestandteile direkt oder unter Einwirkung der sich zersetzenden organischen Substanz in Lösung und so mindestens zu einer günstigen Verteilung in der Ackererde gelangen. Und selbst wenn die Zersetzung der betreffenden stickstoffhaltigen organischen Bestandteile des Guanos nicht ganz vollständig vor sich ginge, wenn ein grösserer oder kleinerer Teil der Harnsäure sich im Boden nicht so rasch zersetzen sollte, als man dies anzunehmen geneigt ist, so haben wir ja gesehen, dass auch zur Not dieser Stoff als direktes Pflanzennahrungsmittel dienen kann, obwohl vielleicht der experimentelle Nachweis dieses Sachverhalts gerade für die Harnsäure noch unvollkommen ist**).

*) Dies kann auch aus der Thatsache geschlossen werden, dass der Gehalt einer einzelnen Guanoprobe an Harnsäure und Oxalsäure im umgekehrten Verhältnis zu einander zu stehen pflegt. In betreff der spezifischen Nützlichkeit der Oxalsäure, welche also in reichlicheren Mengen im Peruguano enthalten ist, hat Liebig eine eigene Theorie aufgestellt, in der Absicht, die so ausserordentlich günstige Wirkung des letzteren, welche er nicht gern auf den grossen Stickstoffgehalt zurückführen mochte, auf diese Weise aufzuhellen. Derselbe behauptet, dass das oxalsäure Ammoniak des Peruguanos durch Wechselzersetzung mit dem phosphorsauren Kalk desselben dazu beitrage, die Phosphorsäure nach und nach in Lösung zu bringen (vergl. *Annal. d. Chem. u. Pharm.*, B. 119, p. 11). Es erscheint aber die Wirkung des Peruguanos heute, wo wir reichere und umfassendere Erfahrungen auf dem Gebiete der vergleichenden Düngungsversuche gemacht haben, keineswegs mehr so ausser allem Verhältnis mit seinem Gehalt an Pflanzennährstoffen, wenn auch allerdings wegen der feinen Verteilung seiner Nährbestandteile und deren langsamen Überführung in verfügbare Formen jene Wirkung der von ähnlichen künstlichen Kompositionen manchmal überlegen ist (vergl. Grouven: Über die Ersatzfrage des Peruguanos, 1873). — Dagegen dienen Harnsäure und namentlich Oxalsäure als ziemlich sichere analytische Erkennungsmittel von echtem Peruguano von künstlichen Gemischen ähnlicher Art.

**) Vergl. I. Teil, 12. Vorlesung, p. 176; ebenso die vollständige Zusammenstellung über diesen Gegenstand bei P. Wagner: *Journ. f. Landw.*, 1869, p. 88, und Vogel: *Bayr. Akad.*, X. B., III. Abt., 1870.

Nach der mitgeteilten Zusammensetzung präsentiert sich nun der Perugano als ein Düngemittel von sehr grosser Konzentration, das aber natürlich (im Vergleich mit Stallmist) im Verhältnis zu seinem Gehalt an Pflanzennährstoffen sehr geringe Mengen von organischer Substanz in sich einschliesst. Von Pflanzennährstoffen enthält derselbe in hervorragender Menge die beiden wertvollsten, d. h. gerade diejenigen, welche bei unserer Stallmistwirtschaft im grössten Verhältnis zu ihrem Vorrat im Boden ausgeführt werden, und nach denen infolgedessen am meisten Nachfrage besteht, die also fast regelmässig im Minimum in unseren Kulturböden vorhanden sind, und zwar beide in mehr oder weniger leicht zugänglicher Form. — Hieraus lässt sich schon im wesentlichen die Bedeutung dieser Guanosorten als Düngemittel und auch einiges über ihre zweckmässige Anwendung folgern. Dieselben schliessen sich in einer Beziehung sehr enge an gewisse schon behandelte Düngestoffe an; sie teilen mit den menschlichen Exkrementen und der Jauche den grossen Mangel an festen organischen Substanzen und sind damit wie jene unfähig, physikalisch verbessernd auf Böden einzuwirken, schwere Böden zu lockern u. s. w.; sie teilen ferner mit den menschlichen Exkrementen den vorwiegenden Gehalt an Stickstoff und Phosphorsäure, sind aber ungleich konzentrierter als jene. Diese letztere Eigenschaft macht für die Anwendung des Peruganos ganz besondere Vorsichtsmaassregeln, feine Verteilung auf den Feldern durch vorsichtiges Ausstreuen oder Vermengung mit Erde notwendig. Zweckmässig ist ferner, ihn schwach oder tiefer unterzupflügen, je nachdem die Bewurzelung der nachfolgenden Gewächse dies erheischt.

Der Gehalt des Peruganos an den zwei landwirtschaftlich wichtigsten Düngbestandteilen macht seine Anwendbarkeit trotz seiner einseitigen Zusammensetzung zu einer allgemeinen, beinahe für alle Feldfrüchte von Erfolg begleiteten, und wäre jener Mangel an physikalischer Bodenverbesserung nicht, welche eine grosse Anzahl unserer Felder nicht entbehren kann, so würde es möglich sein, jahrzehnte- oder jahrhundertlang mit diesem Düngemittel allein unter Erlangung grosser Roherträge zu wirtschaften. Es ist deshalb unnötig, im speziellen Pflanzen anzuführen, für deren Kultur der Perugano vorzugsweise geeignet erscheint.

Mit einigen Worten ist hier auch eines aus dem Perugano künstlich dargestellten Düngemittels zu erwähnen, des „aufgeschlossenen Perugano“. Man behandelt seit einer Reihe von Jahren den Perugano, gerade wie wir dies früher für das Knochenmehl kennen gelernt haben, mit Schwefelsäure, um auf diese Weise die Phosphorsäure leicht löslich und für die Pflanzen zugänglicher zu machen. Soweit diese Fabrikation sich auf den *seebeschädigten* (durch Seewasser bei der Überfahrt angefeuchteten) Guano erstreckt, liegt ihre Zweckmässigkeit auf der Hand; denn durch das Wasser ist in den Guano der Impuls zu einer tiefgreifenden Zersetzung gelangt, welche mit der Entwicklung von Ammoniak, also mit Stickstoffverlust verbunden ist. Die Zumischung von Schwefelsäure verhütet natürlich u. a. diesen Verlust und schützt den seebeschädigten Guano vor weiterem Zurückgehen im Stickstoffgehalt. Auch kann die gleiche Fabrikation für wohlerhaltenen Guano zweckdienlich sein, wenn derselbe wie in neuerer Zeit reicher ist an Phosphorsäure (zumal Tricalciumphosphat) und ärmer an Stickstoffgehalt*). Im andern Falle scheint das

*) Das lange Zeit Vorherrschen des aufgeschlossenen Guanos auf dem Düngermarkte über

blosse Mahlen des von Natur häufig klumpigen und von Steinen durchsetzten Guanos genügend. Der aufgeschlossene Peruguano enthält durchschnittlich 10% lösliche Phosphorsäure und 7% Stickstoff, der indessen in neuerer Zeit vielfach durch schwefelsaures Ammoniak oder (in selteneren Fällen) durch Salpeter ergänzt wird. Stehen aufgeschlossener und feinpulveriger roher Guano, beide von gutem Gehalte, zur Verfügung, so verdient der letztere den Vorzug auf leichtem Boden, während für schwere Böden, in denen wegen der starken Absorption die gehörige Verbreitung der Phosphorsäure Schwierigkeiten unterliegt, vielleicht der aufgeschlossene vorzuziehen ist.

Der Peruguano wurde von den Peruanern schon in sehr früher Zeit — sichere Nachrichten liegen vor für das zwölfte Jahrhundert — angewandt, ein nahe verwandter Guano auch um dieselbe Zeit schon in Arabien*), und diese Thatsache lässt im Verein mit der Entstehungsweise dieser Ablagerungen dieselben als ein natürliches Düngemittel erscheinen, wenn auch die Einfuhr dieser Stoffe in Europa erst in den vierziger Jahren dieses Jahrhunderts begann, und die naturwissenschaftliche Einsicht in die Ernährungsverhältnisse der Pflanzen denselben mit zur weiteren Verbreitung geholfen hat.

Eine ganz andere und als direkte Düngemittel weit untergeordnetere Stellung wie der Peruguano und die andern Vogelexkrementablagerungen regenloser Zonen nehmen diejenigen Guanosorten ein, welche denselben Ursprung haben, aber an Orten entstanden sind, wo Regen fällt, oder die der Brandung ausgesetzt sind. Dort machen die Vogelexkremente alle die Zersetzungen rasch durch, welche für stickstoffhaltige Auswurfstoffe charakteristisch sind, dort erleiden die löslichen und löslich werdenden Teile derselben unausgesetzte Auswaschungen. An die Entstehung eines stickstoff- oder alkalireichen Produkts ist in solchen Gegenden also schon von vornherein nicht zu denken. Doch ist dagegen und namentlich, wo solche Ablagerungen von Vogelexkrementen auf einer Unterlage von Kalksteinen geschehen, Gelegenheit gegeben zur Bildung von phosphorsaurem Kalk, der seiner Unlöslichkeit wegen der Auswaschung widersteht und dann, natürlich vermisch mit anderen mineralischen Unreinigkeiten, abgebaut werden kann. Poröser Kalkstein wird durch die z. T. löslichen Phosphate des übergelagerten Guanos zu Tricalciumphosphat metamorphosiert und so entstehen jene steinartigen Guanos, die man ebensogut Phosphorite nennen könnte und wovon die Baker-, Sombbrero-, Curaçao- und Arubaguanos die besten Beispiele sind, während die ausgelaugten Vogelexkremente ihre braune Farbe und lockere Struktur behalten können. Für diese letztere Sorte kann der Mejillonesguano als Beispiel dienen.

In dieser Klasse von Düngestoffen haben wir es also zu thun mit Substanzen, welche, obgleich ursprünglich auf eine Art entstanden wie die Dünger, welche eine

die natürliche Bedeutung desselben hinaus beruhte zunächst auf merkwürdigen Handelsusancen der Peruanischen Regierung, wovon wir indessen hier keine Erörterung zu geben beabsichtigen. Dann aber blieb die Fabrikation bestehen weit über ihre natürlichen Grenzen hinaus, da die interessierten Düngerfirmen so die Gelegenheit fanden, billige Schwefelsäure zu den hohen Preisen des berühmten Guanos zu verkaufen, und sie ungestraft so viel schwefelsaures Ammoniak zusetzen konnten, als die Garantie eines bestimmten Stickstoffgehalts verlangte.

*) Vergl. Heiden: A. a. O. p. 244.

absolute Düngewirkung zeigen, dennoch eine nur ganz einseitige Düngbefähigung besitzen, vielmehr infolge sekundärer Prozesse zu einem relativen Düngemittel herabgesunken sind und so den Übergang machen zu einer sogleich zu behandelnden Klasse von Düngestoffen, welche nicht nachweislich organischen Ursprungs sind und deshalb nur rein zufällig dies oder jenes düngende Prinzip in sich enthalten.

Für diese, wesentlich aus phosphorsaurem Kalk bestehenden Guanosorten sind der *Baker*-, *Mejillones*- und *Curaçaguano* die bekanntesten Repräsentanten, und um von der Zusammensetzung derselben einen Begriff zu geben, teile ich folgende Durchschnittsergebnisse der vielen angestellten Analysen dieser Substanzen mit.

	Curaçaguano.	Mejillonesguano.	Bakerguano.	Jarvisguano.
Wasser	1 %	10 %	11 %	12 %
Organische Substanz	1	8	9	8
Stickstoff	—	0,7	0,5	0,5
Phosphorsäure	40	38	33	23
Kali	sehr wenig	—	sehr wenig	0,5
Kalk	50	34	40	35.

Aus allen Analysen ist ersichtlich, dass diese Guanosorten wirklich als mehr oder weniger durch andere Stoffe verunreinigter phosphorsaurer Kalk zu betrachten sind. Für sie ist natürlich, da sie keine erheblichen Mengen leicht zersetzbarer stickstoffhaltiger organischen Stoffe besitzen, das Aufschliessen durch Schwefelsäure in allen Fällen zweckdienlich. Ja, die Wirksamkeit dieser Substanzen als Düngemittel ist gar keine erhebliche, wenn man nicht jene Operation mit ihnen vornimmt, es sei denn, dass es sich um saure oder moorige Böden handelt, wo Humussäure oder gar freie Mineralsäure das Ihrige zur Löslichmachung der Phosphorsäure thun*). Unsere hochgradigen Superphosphate (bis 20 % lösliche Phosphorsäure) werden bis zur neuesten Zeit fast alle aus solchen Guanosorten dargestellt**). Für die Anwendung und Wirkungsweise dieser Superphosphate gilt selbstverständlich ungefähr das Nämliche, was für das auf dieselbe Weise aufgeschlossene Knochenmehl hervorgehoben wurde***).

An diese Guanosorten reihen sich dann noch die sogenannten *Koprolithen* an, ebenfalls fossile Stoffe von grossem Reichtum an phosphorsaurem Kalk und hervorgegangen aus den festen Exkrementen vorweltlicher Tiere sehr verschiedener Art, wahre, der Form nach zuweilen noch sehr ähnliche Versteinerungen derselben bildend, welche sich in sehr vielen Ländern, in England, Russland, Böhmen, Spanien, Frankreich, in ansehnlichen Mengen finden. Die Koprolithen, welche

*) Vergl. z. B. Sterneborg: Mitteilungen über Kulturversuche etc., Lippstadt 1870, p. 32.

**) Für die Auswahl des Rohmaterials für die Fabrikation ist ausser dem Preise und dem Reichtum an Phosphorsäure entscheidend: 1. die möglichst vollständige Abwesenheit von Eisen (infolge desselben ergeben sich Übelstände, die sogleich besprochen werden sollen); 2. die Anwesenheit von leichtlöslichen Bicalcium- oder Bimagnesiumphosphaten; 3. die Weichheit des Materials. Beim Mejillonesguano z. B. liegen alle diese Umstände sehr günstig, während z. B. der Curaçaguano steinhart ist und das Navassaphosphat zu eisenhaltig ist. Vergl. über diese Details P. Wagner: Lehrbuch der Düngerfabrikation, 1877, p. 15 u. ff.

***). Für Kalkböden werden die besonders sauren, freie P_2O_5 enthaltenden Superphosphate empfohlen (Stoklasa).

indessen unregelmässiger zusammengesetzt sind als die letztbehandelten Guanosorten, und namentlich häufig einen bedeutenden Gehalt an Eisenoxyd und Thonerde zeigen, werden gemahlen ebenfalls zur Darstellung von (niedriggrädigen) Superphosphaten verwendet, denn auch sie zeigen mit der eben erwähnten Ausnahme, als feines aber unaufgeschlossenes Pulver auf die Felder gestreut, keine erhebliche düngende Wirkung. Neben den Koprolithen sind auch die *Osteolithen* zu erwähnen, Phosphate, die durch ihre Form die Abkunft aus Knochen vorweltlicher Tiere verraten, chemisch indessen nicht strenge von den andern schon besprochenen Sorten auseinanderzuhalten sind.

An diese Stoffe sicher erwiesenen organischen Ursprungs reihen sich nun einige andere an von beinahe derselben Zusammensetzung und derselben praktischen Bedeutung als Düngemittel, für welche aber eine Abstammung aus untergegangenen tierischen Organismen oder deren Auswurfstoffen zweifelhaft oder ganz und gar unwahrscheinlich ist. Es sind dies die im engeren Sinne des Wortes sogenannten *Phosphorite**), welche sich häufig in ihrer Zusammensetzung, aber nicht in der äusseren Form — welche gerade für die Koprolithen den organischen Ursprung beweist — den Koprolithen ausserordentlich nähern. Für das mittlere Europa sind die Phosphorite des *Lahnthals* von hervorragender Bedeutung zur Darstellung von Superphosphaten geworden. Die im Lahnthale befindlichen bauwürdigen Lager dieses Minerals sind nämlich von erheblicher Ausdehnung und lassen eine ziemlich wohlfeile Gewinnung des wichtigen Düngestoffs zu, so dass nach ihrer Inangriffnahme in den sechziger Jahren eine bedeutende Preiserniedrigung der Phosphorsäuredünger erfolgte.

Die zuerst analysierten *Lahnphosphorite* ergaben einen Gehalt von 30—37 % Phosphorsäure; doch die später in den Handel gelangenden bewegen sich in der Regel zwischen 27—32 % und neuerdings noch darunter, da immer weniger reichhaltige Lager mit abgebaut werden mussten. Im übrigen ist ausser einem der Phosphorsäure entsprechenden Kalkgehalt für die Lahnphosphorite ein Gehalt von 2—4 % Fluor, das für eine Phosphoritspezies, den Apatit, sogar als ein konstituierender Bestandteil betrachtet wird, ferner von etwas Thonerde und namentlich von etwas Eisen charakteristisch**). Dieser letztere Gemengteil ist vom Übel, weil er das Aufschliessen des Phosphorits mit Schwefelsäure sehr erschwert und auch die Ursache ist, dass die so dargestellten Superphosphate beim Lagern ihren Gehalt an löslicher Phosphorsäure teilweise — wieder hauptsächlich durch Bildung von Eisenphosphaten — einbüßen oder nach der Kunstsprache der Düngerfabrikanten „zurückgehen“***).

*) Für die Theorie der Entstehungsweise der Phosphorite sind die Untersuchungen Aebys' (vergl. dessen: Über die unorg. Metamorph. der Knochensubstanz, Bern 1870) von Wichtigkeit. — Hier wäre dann auch das Navassaphosphat von einer der karaischen Inseln zu erwähnen, welches, obschon organische Substanz enthaltend, bisher nicht für organischen Ursprungs gehalten wurde; vergl. H. v. Liebig: Jahresber. f. Agrik.-Chem., 1866, p. 240. Indessen wird diese Ansicht von Ulbricht bestritten; vergl. ebenda, 1867, p. 181. Eine gute Übersicht über andere Phosphoritvorkommnisse bei Heiden: Lehrb. der Düngerlehre, 2. Aufl., II, p. 412 u. f.

**) Vergl. Analysen des Lahnphosphorits ebenda p. 416.

***) Diese Nachteile sind einzuschränken durch Gebrauch wenig aber konzentrierter Säure, rasches Auswerfen der stark sich erhitzenden Masse und dergl. Vergl. über diesen Gegen-

Diese zurückgegangene Phosphorsäure, obgleich sie die wesentlichen Vorteile der chemischen Aufschliessung, von welchen wir schon in der letzten Vorlesung gehandelt haben, wieder eingebüsst zu haben scheint, ist doch, wie viele neueren vergleichenden Düngungsversuche lehren, wegen der verhältnismässigen Leichtlöslichkeit des entstandenen Eisenphosphats und anderer ähnlichen Verbindungen in ihrer Düngebefähigung ausserordentlich der ursprünglichen nicht aufgeschlossenen Säure des Minerals überlegen; ja für manche Bodensorten, zumal Sand- und Moorböden, konnten, war nur für genügende mechanische Verteilung im Boden gesorgt, in der Regel keine bedeutenden Unterschiede zu Ungunsten von zurückgegangener oder anderer mit dieser in Löslichkeit gleichstehender Phosphorsäure bemerkt werden. Nur für schwere Bodenarten scheint die löslich gemachte Phosphorsäure ein Prä behalten zu sollen, und auch insofern erscheinen die Maassnahmen mancher ausländischen Versuchstationen verfehlt, welche auch für die Analyse von Düngemitteln die lösliche Phosphorsäure als Wertmaassstab nicht mehr anerkennen, sondern diese mit der zurückgegangenen unter dem Namen von assimilierbarer Phosphorsäure zusammenwerfen*).

Übrigens sind auch die eisenfreien Superphosphate dem Zurückgehen unter Umständen unterworfen, namentlich wenn infolge ungenauer Berechnung der zuzusetzenden Schwefelsäure neben dem sauren Kalksalz noch unaufgeschlossener dreibasisch phosphorsaurer Kalk vorhanden ist, welche beide eine Wechselersetzung in das unlösliche zweibasische Salz (Bicalciumphosphat) eingehen**). Wärme befördert derartige Prozesse.

Die oben berührte Frage nach dem Werte der ungelösten wiewohl leichtlöslichen Phosphorsäure, die, um sie analytisch genauer zu präzisieren, auch wohl die citratlösliche (siehe Anm. *) genannt wird, hat auch ihre Bedeutung für die Ausbeutung von solchen Phosphoriten, die wegen ihres grossen Gehaltes an kohlensaurem Kalko***) nicht geeignet sind, mit Schwefelsäure aufgeschlossen zu werden. Man

stand P. Wagner: Lehrbuch der Düngerfabrikation, 1877, p. 55. Übrigens ist, wie es nach neueren Untersuchungen von Stoklasa den Anschein gewinnt, die Thonerde an diesem Übelstande unschuldig.

*) Dies ist analytisch möglich durch die Anwendung eines Reagens, das thatsächlich diese verschiedenen Formen von Phosphorsäuren ziemlich gleichmässig in Lösung bringt, dagegen die nicht aufgeschlossene des Tricalciumphosphats ziemlich unberührt lässt, das indessen auf verschiedene Weise angewendet sehr verschiedene Resultate giebt, des citronensauren Ammoniaks. Ursprünglich von Fresenius, Neubauer und Luck eingeführt, ist dasselbe später zu sehr allgemeiner Anwendung gelangt, wobei die Annehmlichkeit eine grosse Rolle spielt, dass man in dem Citratextrakte die Phosphorsäure direkt durch Magnesiamixtur niederschlagen kann, ohne zuvor den Kalk und die Metalle der Eisengruppe abzuseiden. Ganz neuerdings sind von P. Wagner und anderen auf Grund von Topfdüngungsversuchen der Wirksamkeit der Phosphate noch besser entsprechenden analytischen Methoden mit Ammoniumcitrat ausgearbeitet und vielfach von Versuchstationen adoptiert worden.

**) Vergl. Jones: Annal. d. Landw. Monatsbl., 1870, H. 12, p. 319. Neuere Studien von Stoklasa, mitgeteilt in der Landw. Versuchszt., 42, p. 439, und dessen: Die wasserlöst. Verbind. d. Phosphorsäure in den Superphosphaten, Prag 1894.

***) Z. B. die Phosphorite von Ciply (Belgien). Ungefähr dasselbe gilt von den mit Säuren (Salzsäure) erzeugten Laugen aus Knochen, die zur Leimfabrikation dienen. Der Niederschlag wird zweckmässig mittelst Filterpressen isoliert.

löst nun, seitdem man eine höhere Meinung über den Wert der citratlöslichen Modifikation von Phosphorsäure gewonnen hat, dieses Gemisch von Phosphat und Karbonat in der wohlfeilen Salzsäure auf und schlägt aus der Lösung durch vorsichtigen Zusatz von Kalk Bicalciumphosphat nieder, welches ziemlich genau dieselben Löslichkeitsverhältnisse besitzt, wie die sog. zurückgegangene (denn diese ist ja z. T. dasselbe Produkt) oder die im Boden durch Absorption fixierte Phosphorsäure und daher als solches ein passendes Düngemittel darstellt. Für derartige Düngemittel fehlt noch ein geeigneter technischer Name. Häufig werden sie als Superphosphate bezeichnet, da sie gerade in Gegenden vorkommen, wo man den Unterschied zwischen wasser- und citratlöslicher Phosphorsäure preisgegeben hat.

Eine andere Modifikation der Superphosphatfabrikation (auch z. T. infolge des Zurückgehens eingeleitet) ist ebenfalls bedeutend genug, um unsere Aufmerksamkeit in Anspruch zu nehmen. Ich meine die an der Lahn üblich gewordene Erzeugung von sogen. *Doppelsuperphosphaten*, die darin besteht, dass man die durch eine rohe Aufschliessung mittelst Schwefelsäure erzeugte freie Phosphorsäure ein zweites Mal auf Phosphoritpulver einwirken lässt und so ein Produkt gewinnt von ungefähr 37 % wasserlöslicher und noch ausserdem $\pm 8\%$ citratlöslicher Phosphorsäure, das natürlich seiner enormen Konzentration wegen für die Ausfuhr nach den Tropen sehr geeignet ist.

Diese Fabrikation*) findet so statt, dass man erst aus Phosphorit durch Anwendung einer der anwesenden Phosphorsäure äquivalenten Menge verdünnter Schwefelsäure Gips und freie Phosphorsäure erzeugt, dann den ersteren durch Filterpressen beseitigt, der, wenn unvollständig ausgewaschen, seines Gehaltes an Phosphorsäure wegen in der Landwirtschaft (namentlich für die Düngerkonservierung**) unter dem Namen von *Superphosphatgips* sehr beliebt ist, und die letztere nach dem Eindampfen benutzt, um eine neue Menge Phosphorit zu Monocalciumphosphat umzusetzen.

Phosphoritlager, den eben besprochenen ähnlich, bei denen die Lagerungsverhältnisse eine Abstammung von Organismen mehr oder minder zweifelhaft machen, sind in sehr verschiedenen Ländern, aber meistens von nicht sehr erheblicher Ausdehnung und Bedeutung, aber doch in genügender Auswahl aufgefunden worden, dass sie zusammen mit den andern früher genannten Quellen den Düngermarkt genügend versehen und der Preis der Phosphorsäure fortwährend gefallen ist.

Als Phosphorsäurequelle rein mineralischer Natur ist endlich die *Thomas-schlacke*, ein Abfall bei der Entphosphorung des Roheisens, zu besprechen, welche in neuerer Zeit einfach gemahlen als Düngemittel verwendet wird.

Das Thomasphosphat ist also im Gegensatz zu den anderen mehr oder weniger schwerlöslichen Phosphaten ein Kunstprodukt und zwar Abfallprodukt der modernen Stahlfabrikation. Diese beruht bekanntlich abweichend von der älteren umständlichen, welche vom reinen Schmiedeeisen ausging, darauf, dass man das unreine Roheisen

*) Genauere Beschreibung des Verfahrens durch L. Brunner: Naturforscherversammlung zu Salzburg 1881. Siehe auch Heiden's Düngerlehre, 2. Aufl., II, p. 503.

**) Siehe die 3. Vorlesung, p. 54.

von einem grossen Teile seiner verunreinigenden Bestandteile, vor allem Kiesel, Schwefel und Phosphor durch Verbrennung dieser mit Hilfe von Gebläseluft reinigt und so direkt einen verhältnismässig billigen Gussstahl erhält. Ein grosser Fortschritt in dieser Stahlfabrikation beruht nun auf der Entdeckung der englischen Ingenieure Gilchrist und Thomas, dass die Entphosphorung des Roheisens besonders leicht gelingt, wenn man in das Schmelzgefäss, den sog. Konverter, zuerst frisch gebrannten Kalk thut, der sich dann mit der entstehenden Phosphorsäure vereinigt, so dass auf diese Weise auch sehr phosphorhaltige Erze, welche früher für die Stahlfabrikation unbrauchbar waren, für diese Verwendung finden können. Der auf diese Weise entstehende, natürlich stark verunreinigte phosphorsaure Kalk schwimmt dann nach Beendigung der sehr stürmisch verlaufenden Reaktion auf dem geschmolzenen Stahle als eine Schlacke, welche ihrer Entstehungsweise nach und zum Unterschiede von anderen Stahlschlacken auch *Thomasschlacke*, in anderen Gegenden (Belgien) auch wohl einfach Metallschlacke genannt wird.

Die Zusammensetzung dieser Schlacken ist ziemlich verschieden, je nach der verschiedenen Natur der Erze und des daraus zunächst erzielten Roheisens, zumal da die Menge des beim Schmelzprozesse zugesetzten Kalkes sich auch nach der Menge des zu beseitigenden Phosphors richtet. Im allgemeinen kann man folgende Grenzziffern unterscheiden:

Phosphorsäure	10—20 %
Kalk	30—50 „
Kieselsäure	2—20 „
Eisenoxydul oder-oxyd	4—30 „
Manganoxydul	3—15 „
Magnesia	2—6 „
Schwefel	0,2—0,6 „

Ferner noch geringe Mengen anderer Stoffe und häufig eingeschlossenes metallisches Eisen.

Lange war schon dieser Prozess und die Zusammensetzung der dabei erzielten Schlacke (deren reichlicher Gehalt an Pflanzennährstoffen) bekannt, ehe man die grosse landwirtschaftliche Bedeutung derselben erkannt hatte. Man ahnte, in theoretischen Anschauungen über die Schwerlöslichkeit der basischen Phosphate befangen, nicht die grosse Aufnehmbarkeit der in ihr enthaltenen Phosphorsäure für die Pflanzenwelt. Alle anderen mineralischen Phosphate des Kalks und des Eisens hatten schlechte Düngungserfolge gehabt, selbst die Knochenphosphate hatten trotz ihrer innigen organischen Vermengung mit leicht vergänglichem und auflösend wirkendem leimgebendem Stoff nur eine beschränkte Zugänglichkeit gezeigt. Wie hätte man also in dieser geschmolzenen, glasartigen Masse mit einem so grossen Überschusse an basischen Bestandteilen, dass das Vorhandensein der etwas leichter zugänglichen bibasischen Phosphate ganz ausgeschlossen war, eine erheblich grössere Verfügbarkeit voraussetzen dürfen?

Die ersten Benutzungsvorschläge gingen also auf eine chemische Umsetzung des beachtenswerten Rohmaterials, deren Details der Geschichte angehören und uns an

diesem Orte nicht weiter interessieren*). Später erst wurde man darauf aufmerksam, dass ein Teil der Thomasphosphorsäure in Pflanzensäuren (z. B. Citronensäure) und sogar in Kohlensäure auflöslich sei und wagte infolgedessen einige Düngungsversuche mit der chemisch unveränderten und nur feingemahlten Schlacke, welche in diesem feinpulverigen Zustand den Namen von *Thomasphosphatmehl* erhielt. Die Resultate dieser Düngungsversuche waren so ermutigend, dass sich bald ein grossartiges Absatzgebiet für die neue Phosphorsäurequelle ergab und man sogar die auf den Halden liegende alte Schlacke zu diesem Zwecke wieder aufsuchte und bearbeitete. Die einzige Vorbereitung dabei war eine rein mechanische, das Zermahlen zu einem äusserst feinen Mehle, da man bald erkannte — und dies ja auch theoretisch vorauszusetzen war —, wie sehr der Düngereffekt von diesem verteilten Zustande abhängig war. Für diese Zerkleinerung wurden bald leistungsfähige Kugelmöhlen konstruiert und der Grad der Feinheit nach dem Vorschlage des um die Einführung des Thomasphosphats zur Melioration von Moor- und Heideböden hochverdienten M. Fleischer durch Metallsiebe von einem Maschenabstand von 0,17 mm**) kontrolliert. Die gewöhnliche Forderung dabei ist, dass wenigstens 75% des Phosphatmehls durch ein solches Sieb passieren muss. Die Leistung der neueren Möhlenkonstruktionen ist aber eine so vorzügliche, dass der Gehalt an Feinmehl in der Regel ein weit bedeutenderer ist.

Dass die Düngewirkung des Thomasphosphates mit der Feinheit desselben zunimmt, versteht sich bei der Schwerlöslichkeit desselben ganz von selber. Dagegen fehlt noch bis zur Stunde eine völlig befriedigende Theorie der verhältnismässig leichten Zugänglichkeit der in dieser Form gegebenen Phosphorsäure überhaupt. Durch vielfach variierte Düngungsversuche ist mit voller Sicherheit ausgemacht, dass die Phosphorsäure in den besseren Sorten von Thomasmehl wenigstens den halben Düngerwert hat von der wasserlöslichen Phosphorsäure der Superphosphate und dass die Nachwirkung jener in späteren Jahren im Verhältnisse noch bedeutender ist, da das Thomasmehl im Boden weniger nachteiligen Umsetzungen ausgesetzt ist als diese, die sich gerade wegen ihrer grösseren Aktivität bald mit dem kohlensauren Kalk und dem Eisenoxyd des Bodens zu schwerlöslichen Verbindungen umzusetzen pflegt. Ebenso ist ausgemacht, dass die fragliche Phosphorsäure weit verfügbarer ist als die des Knochenmehls im rohen, gedämpften oder gefaulten Zustande desselben, gar nicht zu reden von der beinahe unter allen Umständen sehr geringen Zugänglichkeit der Phosphorsäure, der Phosphorite und anderen mineralischen Tricalciumphosphate. Für beinahe alle, selbst die intensivsten Kulturen, wie z. B. den Tabak, ist das Thomasmehl, zumal auf den leichteren Bodenarten, ausgezeichnet zu gebrauchen, wenn man davon nur eine entsprechend grössere Menge verwendet, und nur wenn der Boden in schlechtem Düngungszustande verkehrt, macht sich die Düngewirkung

*) Vergl. über diesen Gegenstand Schucht: Die Fabrikation des Superphosphates und Thomasphosphatmehles, Braunschweig 1894.

**) Sogenanntes Sieb Nr. 100, da die Siebe in der Technik numeriert werden nach der Anzahl Dräthe auf den alten Pariser Zoll. Man vergesse bei der Berechnung nicht, dass beinahe die Hälfte der Fläche durch den Metalldrath selber eingenommen wird.

des Thomasmehles zuweilen etwas zu langsam geltend, dass sie unter solchen Umständen z. B. mehr auf den Strohertrag als auf den an Körnern wirkt.

Diese unzweifelhaft günstige Wirkung hat man sich theoretisch nun gewöhnlich so zurechtzulegen gesucht, dass man die Verbindungsform der Phosphorsäure im Thomasmehl sich dachte als (mit der gewöhnlichen Verbindungsweise der Phosphorsäure allerdings wenig harmonisierendes) Tetracalciumphosphat, eine chemische Verbindung, welche man nicht allein als solche künstlich dargestellt hat*), sondern auch in den Thomasschlacken mikroskopisch nachweisen konnte**), und thatsächlich ist die Phosphorsäure in dieser Verbindung sauren Reagenzien gegenüber, wie die sind, worüber die Pflanze verfügt, leichter zugänglich als die des gewöhnlichen Tricalciumphosphats; und ganz dasselbe gilt für die entsprechenden Magnesiasalze. Man kann sich dieses Verhalten etwa erklären aus der geringeren Stabilität der vierbasischen Verbindung, die unter Einfluss von Säure leichter sich spaltet in ein Kalksalz der angreifenden Säure und in Bicalciumphosphat.

Dieser im übrigen ziemlich plausibeln (man hat ausserdem auch noch auf die glasartig spröde Natur der Schlacke gewiesen, die sich leichter splittert als das zähe Tricalciumphosphat) Erklärungsweise steht nun aber von neueren Erfahrungen entgegen, dass nicht die kalkreichsten Schlacken, sondern die kieselreichsten (bei gleichem Phosphorsäuregehalt) die besten sind und dass man geradezu die Verfügbarkeit der Phosphorsäure durch Umschmelzen der Schlacken mit Kieselsäure in der Form von Sand sehr ansehnlich steigern kann, wobei dann unfehlbar ein Teil des Kalkes der Phosphorsäure entzogen und an Kieselsäure gebunden wird. Aus anderen Gründen ist eine teilweise Bindung der Phosphorsäure an Eisen wahrscheinlich***). Die wissenschaftliche Erklärung des grossen Düngevermögens lässt also noch zu wünschen übrig, wie das die Eigenschaft aller Erklärungen zu sein pflegt, die nicht der Erfahrung vorausgehen, sondern derselben hintennach angepasst werden.

In der neuesten Zeit hat die Ansicht Feld gewonnen, dass die Phosphorsäure in dem Thomasphosphat zum grossen Teile als Doppelsalz von Tricalciumphosphat mit Kalksilikat vorkomme und dass diese Form der Pflanzenwurzel sehr zugänglich sei†). Es stützt sich diese Meinung auf die Analyse der unter dem Mikroskope blau erscheinenden Krystalle der Schlacke durch Arens††) und auf den schon eben angedeuteten Nachweis Wagner's, dass die Citratlöslichkeit der Thomasphosphorsäure mit dem Gehalt der Schlacke an gebundener Kieselsäure ungefähr parallel gehe.

Bei der ausgezeichneten Düngewirkung des Thomasphosphats ist noch besonders zu erwähnen nötig, dass die Sulfide und der Eisengehalt derselben nicht, wie manche anfangs befürchtet hatten, als schädliche Bestandteile irgendwie sich geltend machen. Der Gehalt an ersteren ist, wie die oben mitgeteilte Analyse lehrt,

*) Vergl. Hilgenstock: Jahresber. chem. Technologie, 1887, p. 282.

**) Auch als Mineral bekannt unter dem Namen von Isoklas.

***). Vielleicht teilen übrigens die stark basischen Eisenphosphate mit den ebenso konstituierten Kalk- und Magnesiahosphaten die Eigenschaft der Leichtlöslichkeit.

†) Vergl. P. Wagner: Landw. Presse, 1894, p. 983.

††) Die Thomasschlacken, ihre Analyse und Verwendung, Wiesbaden, 1886.

sehr gering. Das Eisen ist allerdings zum grössten Teil als Oxydul anwesend, aber auch dieser Bestandteil ist, worauf schon mehrfach hingewiesen wurde, wenn er von selbst im Boden erzeugt wird, mehr ein Kennzeichen einer schlechten Durchlüftung wie in einem gut durchlüfteten Boden an sich ein schädlicher Bestandteil.

Für die Beurteilung des Thomasmehles durch die Versuchsstationen dienen annoch die folgenden Momente: Man bestimmt zunächst den Gehalt an Gesamtphosphorsäure, sodann natürlich die Feinheit (genauer den Prozentgehalt an Feinmehl) mittelst des oben erwähnten Siebes; endlich die Echtheit. Auch die letztere Feststellung ist nach dem jetzigen Stand der Beurteilung eine Notwendigkeit, da sonst feingemahlener Phosphorit von hohem Phosphorsäuregehalt, aber von weit geringerem Werte einfach als Thomasmehl auf den Markt geworfen werden könnte, wie thatsächlich solche Waren, mit Kohlenpulver dunkel gefärbt, um so dem Thomasmehle ähnlicher zu werden, vielfach dem Landwirte in die Hand gestopft werden. Als bestes Erkennungsmittel der Echtheit kann das Mikroskop dienen*), unter welchem das Thomasphosphat als glasige vielfach buntgefärbte Splitter erscheint, während die Phosphorite nur als schwach durchscheinende helle Körner auftreten. Auch der geringe Glühverlust der Schlacken, die ja eben durch den Glühprozess entstanden sind, ist ein gutes Kennzeichen, während spezifisches und Volumgewicht, die früher viel als Unterscheidungsmittel gebraucht wurden, bei sehr feinen, sog. Flugmehlen, die als Nebenprodukt beim fabrikmässigen Sieben der Thomasmehle erzeugt werden, und bei Produkten, die mittelst des Elektromagneten ihrer Eisenteile beraubt sind, im Stiche lassen.

Es kann indessen keinem Zweifel unterliegen, dass diese Art der Beurteilung eine sehr vorläufige ist. Natürlich ist eine Methode zu erstreben, welche wie die Bestimmung der wasserlöslichen Phosphorsäure in den Superphosphaten mit einem Schlage einen brauchbaren Maassstab giebt, ohne sich mit den subtilen Fragen der Provenienz einzulassen. Eine derartige Beurteilungsweise ist um so mehr anzustreben, als es durch zahlreiche und sehr sorgfältige Düngungsversuche, wie sie namentlich von P. Wagner angestellt worden sind, ausser allem Zweifel ist — und Thatsachen, die hierhin gehören, wurden ja auch soeben von uns, als wir von der Theorie der grossen Wirksamkeit des Thomasphosphates handelten, zur Sprache gebracht —, dass verschiedenartige Thomasphosphate, deren Echtheit ganz ausser Zweifel steht, in einem sehr verschiedenen Maasse für die Pflanzenproduktion verfügbare Phosphorsäure enthalten.

So hat das Thomasphosphat eines englischen Stahlwerkes (Bolkowphosphat) bei gleicher Menge verwendeter Phosphorsäure den grössten Düngerwert, dann folgen die rheinischen Thomasmehle, dann die aus den östlichen Provinzen Preussens, während die belgischen Produkte weitaus den geringsten Wert besitzen. Und zwar sind die Unterschiede sehr bedeutend, das Verhältnis von 1 : 2 übersteigend. Man erkennt, welche Ungerechtigkeit die jetzige Beurteilungsweise noch in sich birgt, da diese belgischen Thomasmehle doch ebenso gut phosphorsäurereich, fein gemahlen und echt sein können als andere und also die Kontrolle der Versuchsstationen ungestört

*) Vergl. Wrampelmeyer: Tydschr. v. Landbouwkunde, 1893, p. 149.

passieren werden. Sich aber die Provenienz aus verschiedenen Ländern garantieren zu lassen, ist praktisch kaum (nur etwa mit dem Plombierungssystem) ausführbar, ganz abgesehen davon, dass einzelne Fabriken nach abweichenden Methoden arbeiten und so, wenn auch häufig aus denselben Erzen wie die andern Stahlwerke des gleichen Landes, doch eine anderweitige Schlacke erzielen.

Die Aufgabe, die gestellt ist, besteht natürlich darin, ein Reagenz ausfindig zu machen, welches direkt in einem jeden Produkte, das seinen Düngerwert einem Gehalte an in Wasser unlöslicher Phosphorsäure verdankt, den Gehalt an für die Pflanze verfügbaren Mengen dieses Bestandteils angiebt. Dieselbe ist natürlich nur zu lösen durch die Anstellung einer grossen Reihe von Vegetationsversuchen mit verschiedenen Phosphaten, die zugleich mit den fraglichen Reagenzien behandelt werden müssen, und bis solche ausgedehnten Versuche die Kritik von Fachgenossen durchgemacht haben und die auf sie begründeten Methoden sich einer allgemeinen Anerkennung erfreuen, verläuft natürlich eine geraume Zeit. Gegenwärtig scheint als Reagenz für eine solche Beurteilung 5prozentige Citronensäure, von welcher $\frac{4}{5}$ durch Ammoniak abgestumpft ist, bei erhöhter Temperatur und energischem Digerieren die meiste Aussicht auf Erfolg zu haben*). Manche Düngerhändler garantieren bereits einen bestimmten Prozentgehalt an solcher citratlöslichen Phosphorsäure; aber die Angelegenheit ist noch nicht spruchreif, obwohl ganz neuerdings M. Märcker einen grossen Anstoss in dieser Richtung gegeben hat**).

Was die Verwendung des Thomasphosphats angeht, so können wir uns hier kurz fassen, da dieselbe aus bisher Gesagtem von selbst sich ableitet.

Das Thomasphosphat wird entsprechend seiner geringeren Löslichkeit im Gegensatz zu den Superphosphaten natürlich überall da gebraucht, wo diese Löslichkeit entweder nicht nötig oder gar unerwünscht ist. Also in Hinsicht auf den Charakter des Bodens mit Vorliebe auf den leichteren (thonarmen) Bodenarten, auf welchen die Gefahr besteht, dass lösliche Phosphorsäure auf Nimmerwiedersehen in den Untergrund versickert oder erst sehr langsam im Untergrunde etwa durch Eisenverbindungen, ferne von den Orten der eigentlichen Wurzelentwicklung, festgehalten wird, um so auch in trockeneren Zeiten (durch Kapillaraufsaugung) nicht mehr in den Obergrund zurückzugelangen. Man darf nicht ausser Augen lassen, dass in dieser Beziehung gerade dieses Umstandes wegen die lösliche Phosphorsäure noch in schwierigeren Verhältnissen verkehrt als selbst die Salpetersäure, die allerdings gar nicht absorbiert wird, aber gerade deshalb mit der kapillaraufsteigenden Feuchtigkeit aus dem Untergrund gelegentlich nach dem Obergrunde zurückkehrt. Wenn man daher schon mit Salpeterdüngungen auf leichten Bodenarten hinsichtlich der Menge, die man auf einmal giebt, vorsichtig sein muss, so gilt dies mindestens in demselben Maasse von den Superphosphatdüngungen, daher dann manchmal grobkörniges Superphosphat (im Gegensatz zu der gewöhnlichen Regel) empfehlenswerter

*) Citronensäure in gänzlich freiem Zustande zu verwenden, ist immer bedenklich, da hierdurch zu viel Phosphorsäure in Freiheit gesetzt wird, die ihrerseits zu stark lösend wirkt, so gut 5prozentige Citronensäure sich auch bewährt hat, Thomasphosphat von einem anderen (thonerhaltigen) Phosphat (dem Redondaphosphat) zu unterscheiden.

**) Landw. Presse, 1894, Nr. 94.

ist als allzu feines, und für diese Verhältnisse ist das Thomasphosphat, das an und für sich nicht löslich ist, aber in Berührung mit der Pflanzenwurzel seine Phosphorsäure so leicht zur Verfügung stellt, ein ausgezeichnetes Auskunftsmittel. Dasselbe bleibt, soweit es nicht gleich gebraucht wird, lange im Boden in, soviel bekannt*), lange unveränderter chemischer Form liegen und steht noch Monate und Jahre später mit nahezu der ursprünglichen Löslichkeit den Pflanzen zur Verfügung.

Noch entschiedener ist das Thomasphosphat auf den eigentlichen sauren Böden an seinem Platze; nur dass hier zuweilen die Frage entstehen kann, inwieweit man es durch die noch viel schwieriger löslichen, aber billigeren Mineralphosphate (Phosphoritpulver und dergl.) ersetzen kann. Auf solchen Böden wird seine Wirksamkeit noch erhöht durch seinen verhältnismässig sehr hohen, den der Phosphorite im Verhältnis zur Phosphorsäure übersteigenden Kalkgehalt. Auf Wiesengelände, auf welchem man notgedrungen zur Kopfdüngung sich bequemen muss, sollte man allerdings denken, dass die Superphosphate wegen ihrer grösseren Löslichkeit und daher Fähigkeit, bis zu den Graswurzeln vorzudringen, den Vorzug haben müssten; aber gerade auf solchen lehrt die Erfahrung, zumal wenn man die Anwendung frühzeitig (schon im Spätherbste) und zugleich mit einer Bearbeitung mit tiefeinschneidenden Eggen vornimmt, dass die Thomasphosphate vorzüglich wirken. Man muss also annehmen, dass das feine Pulver mit dem Regenwasser genug in den Grund gespült wird, um mit den rasch sich erneuernden Wurzeln der Gräser und der Wiesenleguminosen in Berührung zu kommen.

Sodann, was die verschiedenen Kulturzwecke angeht, ist das Thomasphosphat zumal dann zu gebrauchen, wenn der Pflanze eine längere Zeit zur Aufnahme der Phosphorsäure zur Verfügung steht und wenn sie wie die Leguminosen an sich mit einem starken Assimilationsvermögen für Phosphate, namentlich durch grossen Gehalt der Wurzeln an Pflanzensäuren, ausgestattet ist. Für Sommergetreide und andere Kulturen, die kurz zu Felde stehen, werden daher häufig die Superphosphate einen Vorsprung haben und manchmal bei Anwendung von Thomasmehl die Samenbildung, für welche zu einem ganz bestimmten und kurz bemessenen Zeitpunkte reichlich Phosphorsäure zur Verfügung stehen muss, etwas in den Hintergrund gedrängt werden.

Im übrigen ist die Verwendung des einen oder des anderen Düngemittels eine Geldfrage, und man wird im allgemeinen Thomasmehl an der Stelle von Superphosphat nur dann gerne gebrauchen, wenn darin das Kilo Phosphorsäure nicht viel mehr als die Hälfte von dem Preise der löslichen beträgt; denn dieses ist ungefähr**) das Wertverhältnis, welches sich im Durchschnitt bei vergleichenden Düngungen herausgestellt hat.

Ganz unersetzlich ist das Thomasmehl, wo es sich darum handelt, im voraus auf viele Jahre einen Boden an Phosphorsäure zu bereichern, z. B. bei der Anlage von dauernden Luzernefeldern oder von Wein- und Obstbaumgärten, wo man später zu den unterirdischen Organen tiefwurzelter Pflanzen nicht (auf schweren und

*) Siehe hierüber p. 124.

**) Bei belgischen und anderen schwerlöslichen Thomasmehlen natürlich ein weiteres Verhältnis.

kalkreichen Bodenarten auch nicht durch Düngungen mit Superphosphat) mehr durchdringen kann.

Endlich hätten wir an dieser Stelle noch zu reden von der vielbesprochenen Nachwirkung von Thomasphosphat. Mehrmals wurde die Frage erörtert, ob Thomasphosphat längere Zeit im Boden liegend eine chemische Veränderung der Art erleidet, dass ein Teil der anfangs aufnehmbaren Phosphorsäure, welche aber aus diesem oder jenem Grunde seitens der zunächst angebauten Pflanze nicht aufgenommen wurde, unwirksam wird. Wie man leicht erkennen wird, steht diese Frage in inniger Beziehung zu den Ratschlägen einiger Agrikulturchemiker*), einen gewissen Überschuss an Phosphorsäure in der Form des genannten Düngemittels in den Boden zu bringen, wodurch man sich bei ungewöhnlich günstigen Witterungsverhältnissen einen hohen Ertrag sichere, während bei ungünstigen nur die unbedeutende Rente des für Ankauf des Phosphats verwendeten Kapitals verloren gehe. Diese Ratschläge wurden von anderer Seite bestritten, ja sogar als eine nur im Interesse der Düngerhändler liegende Reklame verdächtigt, indem man wahrscheinlich zu machen suchte, dass die Phosphate einer solchen Reservedüngung gar bald in unwirksame Modifikationen übergingen, in dieselbe Form, in welcher schon so viel Phosphorsäure im Boden vorhanden ist**); und wenn dieses wirklich der Fall sein sollte, so ist deutlich, dass dann nicht bloss die Rente, sondern ein gutes Stück des Reservekapitals mit verloren sein könnte. Man hat indessen auf Grund von dahin gerichteten Versuchen***)

*) Namentlich P. Wagner: Die rationelle Düngung der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen, 2. Aufl., 1891, p. 15.

**) Siehe Liebscher: Referate über Vorträge etc., Hannover, 1892, p. 73.

***) Auch ein an der Versuchsstation zu Wageningen angestellter Versuch sollte einen Beitrag zur Lösung der so gestellten Frage liefern. Derselbe wurde in sehr phosphorsäurearmem und eisenreichem dilluvialen Sande gemacht, weil in solchem Boden die Wahrscheinlichkeit zu der fraglichen Umwandlung am grössten und ausserdem die Phosphorsäurebestimmung am leichtesten war. Je 2 kg solchen Sandes wurden im Frühjahr 1893 in gläserne Töpfe gefüllt, 2 g Thomasphosphat von bekannter Löslichkeit damit vermengt mit 500 g Wasser befeuchtet, ein Topf gleich untersucht und die übrigen monatelang sich selbst überlassen. — Untersucht wurde, wieviel Phosphorsäure gleich oder später in 5prozentige Citronensäure aus der Erde gelöst werden konnte, und dabei wurden vergleichungsweise die nachstehenden Resultate erhalten:

Phosphorsäure gefunden	Im ungedüngten Sande	In mit 2 g Thomasphosphat gedüngtem Sande			
	0,05 g	nach 0, 0,32 g	nach 4, 0,28 g	nach 8, 0,30 g	nach 17 Monaten 0,32 g ,

(hierbei kleiner Verlust)

während die direkte Bestimmung der in 5prozentiger Citronensäure löslichen Phosphorsäure 0,31 g ergeben hatte. Aus diesem Versuche geht also hervor, dass es schwierig ist, die ganze Menge Phosphorsäure aus Phosphat, welches mit der 1000fachen Quantität Erde vermischt ist, wiederzugewinnen, aber dass kein Anzeichen vorhanden ist, als ob die chemische Form des Phosphats in 1½ Jahren sich wesentlich geändert hätte. Natürlich ist für diese Beurteilung die Verwendung einer beliebigen Citronensäurelösung ein nicht ganz sicherer Maassstab, und ich würde heute, im Besitze von Erfahrungen über das Auflösungsvermögen verschiedener Citratpräparate innerhalb der letzten 1½ Jahre, zu dergleichen Versuchen wohl 4/5 der gebrauchten Säure durch Ammoniak gesättigt haben.

sowohl als von Erwägungen alle Ursache, die Frage nach einer etwaigen nachteiligen Veränderung des Thomasphosphats im Boden im verneinenden Sinne zu beantworten.

Die Abneigung, welche sich in neuerer Zeit hier und da gegen Thomasphosphat geltend macht*), beruht nun auch keineswegs auf der Erfahrung, dass die Nachwirkung dieses Phosphats besonders gering sei, sondern vielmehr darauf, dass man bei wiederholten Düngungen mit Thomasphosphat manchmal einen stets kleiner werdenden Erfolg beobachtete, welches Resultat dann mit ganz richtigen Erfahrungen über geringe Nachwirkungen von Superphosphat**) kombiniert und verwechselt wurde***).

Aber die Schlussfolgerung, zu welcher man auf Grund des Versuches kommt, wird neuerdings bestätigt durch Märcker (Bericht, Versuchsstation Halle, 1893, p. 10), welcher in jahrelang fortgesetzten Topfversuchen die allerstärkste Nachwirkung von Thomasphosphat konstatierte, viel stärker als bei Superphosphaten, die gerade ihrer Leichtlöslichkeit wegen zu einer baldigen Veränderung ihrer chemischen Struktur wie des Platzes im Boden wegen. Auch ganz neue Mitteilungen von Wagner: Landw. Presse, 1894, Nr. 82 sprechen im selben Geiste.

*) Vergl. L. H. in „Maandbl. der Oudleerlingen“, 1893, p. 130.

**) Z. B. die von Kuntze und Ullmann siehe ebenda.

***) Wenn nun Thomasphosphat z. B. auf Weideland nicht mehr wirken will, wo es früher gewirkt hat — eine Thatsache, die ja gar nichts mit der Nachwirkung zu thun hat —, so kann die Ursache hiervon sein, erstens dass bei der grossen Nachfrage nach diesem Düngemittel nach und nach schlechtere Sorten oder gar verfälschte Thomasmehle in den Handel gebracht worden sind, worüber selbst die Kontrolle seitens der Versuchsstationen, die überdies manchmal versäumt sein mag, nur einen unvollständigen Aufschluss giebt. — Zweitens und hauptsächlich wird aber bei der Thomasphosphatdüngung meinen Erfahrungen zufolge viel zu viel auf den Kalkgehalt dieses Düngemittels gerechnet, welcher allerdings erheblich grösser ist als der Phosphorsäuregehalt. Man vergisst hierbei nicht allein, dass auch der Gehalt der Weidegräser, aber namentlich derjenige der Kleearten, die sich unmittelbar nach der Düngung einzustellen pflegen, auch viel grösser ist als deren Gehalt an Phosphorsäure (im Rotklee ist dieser Gehalt beinahe der vierfache), sondern hauptsächlich, dass jeder Boden fortwährend weit über das Maass des Bedürfnisses der Pflanzen hinaus Kalk durch Ausspülung in den Untergrund verliert (vergl. Stoklasa: Landw. Versuchsst., 40, p. 163) und dass dieser Verlust besonders bei gleichzeitiger Kainitdüngung (infolge der Umsetzung des kohlensauren Kalkes und Kalksilikaten mit den Kalisalzen) sehr grosse Dimensionen annehmen kann. — Daher thut sehr häufig neben Thomasphosphat und Kainit trotz des hohen Kalkgehaltes des ersteren eine direkte Kalkdüngung (siehe den in der 10. Vorlesung angeführten Düngungsversuch) einen ganz ausserordentlichen Effekt und kann ich mir denken, dass, wenn man auf kalkarmem Boden diese Beifügung unterlässt, nach einigen Jahren ein solcher Kalkhunger eintritt, dass Thomasphosphat, wovon der Kalk sich nicht sofort über den ganzen Boden verteilt, denselben allein nicht mehr zu stillen vermag. — Wohl ist meines Erachtens zuzugeben, dass die Schwärmerei für das Thomasphosphat in vielen Kreisen zu gross gewesen ist, und dass es gegenwärtig in sehr vielen Fällen gerechtfertigt ist, dasselbe durch das ja auch billiger gewordene Superphosphat zu ersetzen. Aber ich meine, dass diese gesunde Reaktion mehr hervorgehen müsste aus der Thatsache, dass das in Rede stehende Düngemittel schwer in seiner Reinheit und Verfügbarkeit beurteilt werden kann, und dass es ausserdem gar nicht mehr so ausserordentlich billig ist, ferner vielleicht noch, dass es, wie die Märcker'schen Versuche aus dem Jahre 1893 — vermut-

Über die weiteren Anwendungsarten dieser spezifischen Phosphorsäuredünger machen wir hier keine Mitteilungen, weil wir später*) die Frage der Anwendung der verschiedenen Düngerarten ganz allgemein zu behandeln gedenken. Nur was die Unterbringung angeht, so sei hervorgehoben, dass man selbst die sehr löslichen Superphosphate lieber bis zur Tiefe der Entwicklung der Pflanzenwurzel unterpflügt (und nur, wo notgedrungen eine Kopfdüngung angewendet werden muss, dies natürlich unterlässt), da die Verbreitung der Phosphorsäure auch in diesem Zustande, wie schon früher angedeutet, sich nur auf verhältnismässig kleine Abstände erstreckt.

Achte Vorlesung.

Die sogenannten künstlichen Düngemittel des Handels (Schluss). — Die stickstoffhaltigen Spezialdünger. — Die Kalidünger.

Neben den in der vorigen Vorlesung abgehandelten phosphorsäurereichen Spezialdüngemitteln haben wir nun heute — wenn wir wie immer diejenigen Pflanzennahrungsstoffe als Klassifizierungsprinzip benutzen, welche durch das grosse Verhältnis, in dem sie von den Pflanzen aufgenommen, durch das kleine, in dem sie in verfügbarer Form im Boden vorhanden sind, als besonders wichtig erscheinen — zunächst die *stickstoffreichen Spezialdüngemittel* zu unterscheiden und zu behandeln. Auch für diese ist eine scharfe Grenze nach organischem oder mineralischem Ursprung kaum zu ziehen, auch für diese lässt sich, wenn auch ihre Zusammensetzung eine ganz einseitige geworden ist, häufig ein indirekter Ursprung aus Organismen ableiten.

Um einzusehen, dass sich dies nicht anders verhalten kann, muss man sich an gewisse Betrachtungen erinnern, welche wir im ersten Teile dieser Vorlesungen**) über die Bedingungen des Entstehens und der Ansammlung des gebundenen Stickstoffs angestellt haben. Nur der gebundene Stickstoff erwies sich, allgemein gesprochen und von der Ausnahme bei den Leguminosen abgesehen, als Pflanzennahrung; durch die Assimilation desselben durch die Pflanzenwelt war die erste Bedingung zu dessen Ansammlung, zur Aufsammlung stickstoffhaltiger Nahrung für eine neue Vegetation gegeben; ohne dieselbe reichten die natürlichen Prozesse der Entstehung von gebundenem Stickstoff nicht aus, um an irgend einem Orte Stickstoffverbindungen in erheblichen Mengen anzuhäufen. Wenigstens sind solche Vorgänge ausserordent-

lich handelt es sich dabei um ein Übersehen der von Wagner mehrfach erörterten Thatsache, dass man auf phosphorsäurearmem Boden zur Erlangung schneller Resultate stets einen Teil der Phosphorsäure in gelöster Form geben muss — lehren, bei Getreide mehr auf den Stroh- als auf den Körnerertrag zu wirken scheint (eine Thatsache, welche übrigens noch nähere wissenschaftliche Erörterung erheischt), während mir, wie schon in Anm. ***) auf p. 124 gesagt, keine unbestrittenen Facta bekannt sind, die auf eine baldige chemische Transformation der Phosphorsäure des Thomasphosphates in verhältnismässig unlösliche „Bodenphosphorsäure“ deuteten.

*) Siehe 12. Vorlesung.

**) Die 13. Vorlesung.

lich selten. Zu erinnern wäre nur etwa an die Salmiakansammlungen in der Nähe von Vulkanen, eine Erscheinung, welche aus der Anziehung atmosphärischen Ammoniaks durch die von jenen exhalirte Salzsäure erklärt wird, oder an die ähnlichen Funktionen des Schwefels und Arsens in den Solfataren*).

Die spezifischen Stickstoffdüngemittel sind *salpetersaure Salze und Ammoniakverbindungen*, oder Substanzen, die neben sonst gleichgültigen Stoffen diese in erheblicher Menge enthalten.

Von *salpetersauren Salzen* kommt allein das *salpetersaure Natron*, der sogenannte *Chilisalpeter*, in sehr grossen baufähigen Lagern in der Natur vor. Die natürlichen Lager oder blossen Bildungsstätten von Kalisalpeter kommen dagegen für die Gewinnung von Düngestoffen kaum in Betracht. Wer mit der Entstehungsweise und der Fabrikationsmethode des letztern nur einigermaassen vertraut ist, der kann sich schon von vornherein die Frage beantworten, warum dieser keine grosse Rolle als praktisches Düngemittel spielen kann. Man würde freilich durch den Kalisalpeter zwei Pflanzennährstoffe auf einmal dem Boden zuführen, und seine Verwendung bei Vegetationsversuchen oder bei der Blumenzucht zeigt dessen grosse Wirksamkeit; allein es ist daran zu erinnern, dass dieser Salpeter, auch soweit er eben nicht aus dem weit billigeren Natronsalpeter durch Wechselersetzung mit einem Kalisalz dargestellt wird, auf eine Weise gewonnen wird, aus welcher direkt gefolgert werden kann, dass eine Anwendung desselben in der Landwirtschaft nicht lohnend sein wird. Man lässt nämlich bei der Fabrikation in den Salpeterplantagen die salpetersauren Salze aus Basen und stickstoffhaltigen verwesenden Stoffen entstehen, in ganz ähnlicher Weise, wie diese Stoffe auch auf unsern Feldern, ehe sie in die Pflanze übergehen, diese endgültige Form annehmen. So produzierten Salpeter zur Düngung in der Landwirtschaft verwenden, hiesse also den schon vorhandenen gebundenen Stickstoff in einer sehr reinen Form mühsam aus der Ackerkrume gewinnen, um ihn dann wieder der Ackerkrume einzuverleiben. Dies kann unmöglich eine vorteilhafte Operation sein, denn weit einfacher wäre es ja, die betreffenden stickstoffhaltigen verwesenden Stoffe als Dünger zu benutzen, für deren Übergang in Salpetersäure man ja dann keine weitere Sorge zu tragen brauchte, und wobei man die Darstellungskosten des Salpeters sparen würde.

Das Gleiche gilt für die in neuerer Zeit übliche Darstellung des Kalisalpeters aus Natronsalpeter und Chlorkalium. Die beiden letzteren Salze sind wirksame Düngemittel. Warum also, wo man neben Kali Stickstoff geben will, nicht beide nebeneinander anwenden und erst mit Kosten ein Salz darstellen, das beide vereinigt, zudem die Unterbringungsregeln für Kalisalze und Salpeter verschieden sind?

Ganz ähnliche Gesichtspunkte wie für die Unrentabilität des Kalisalpeters gelten auch, wie ich beiläufig erwähnen will, für die Fabrikation von *phosphorsaurem Ammoniak* und *Kali* sowie von *salpetersaurem Ammoniak*, in welchen allen man eine grosse Konzentration von Nährstoffen haben würde, aber auch hohe Darstellungskosten, woraus folgt, dass derartige Präparate vorläufig nur für Liebhaberzwecke oder für Transport nach fernen Gegenden geeignet sind.

*) De Luca: Compt. rend., T. 80, p. 674.

Aus diesem Gesichtspunkte ergibt sich, dass der Kalisalpeter, obwohl an sich selbstverständlich ein vortreffliches Düngemittel, wirtschaftlich keine ausgedehnte Bedeutung als solches gewinnen kann. Will man neben Stickstoff auch Kali der Pflanze zuführen und stehen dafür keine natürlichen Düngungsmittel zu Gebote, so würde man zweckmässiger neben dem kalifreien Chilisalpeter einen spezifischen Kalidünger verwenden. Nur für Zwecke, wobei auf die Kosten der Düngemittel gegenüber dem hohen Preise des Produkts kaum geachtet wird, z. B. für die Kultur von Blumenzwiebeln, hört man von befriedigenden Resultaten bei der Anwendung von Kalisalpeter. Auch für die künstliche Düngung von Tabak, wobei wir Kali verwenden, aber Chloride gerne vermeiden, verdient dieses Düngemittel zuweilen in Erwägung gezogen zu werden.

Ganz anders steht es von eben demselben Gesichtspunkte aus mit dem *Natronsalpeter*. Wir finden ihn in grossen 1—2 Meter mächtigen Lagen fertig in der Natur vor, gleichsam des Abbaus harrend, an Orten, wo er nicht zur Pflanzenproduktion dienen kann. In wüsten Landschaften im südlichen *Peru*, jetzt von *Chili**) infolge des Salpeterkrieges annektiert, in der Provinz Tarapaca treffen wir diesen Körper über die Hochplateaus nicht unfern der Küste verbreitet und beinahe**) zu Tage liegend — und auch in Oberägypten scheinen ganz neuerdings ähnliche Vorkommnisse konstatiert zu sein, ohne dass man eine klare Vorstellung hat, wie er dahin gekommen sein mag.

Gemäss den früher geltend gemachten und vorhin wieder rekapitulierten Anschauungen über die Ansammlung des gebundenen Stickstoffs sollte man sich der Hypothese zuneigen, dass auch zur Ansammlung desselben in diesem Falle Organismen mitgewirkt haben müssten, und in der That sind von seiten der Geologen derartige Hypothesen ausgesprochen worden, ohne dass sie freilich meines Wissens allgemeine Zustimmung erlangt hätten. Man hat die Ansicht geäussert, der natürliche Natronsalpeter habe an den genannten Küstenstrichen seine Entstehung dadurch genommen, dadurch, dass grosse Massen von Meeresalgen***), welche ja bekanntlich manche sehr ausgedehnte Strecken des Oceans zu wahren grünen Wiesen, sog. Sargassoseen, machen, durch grosse Sturmfluten in früherer Zeit auf das Land geschleudert worden seien, und dass daselbst sich aus dem Stickstoff der verwesenden Algen und aus dem Natron des Seesalzes jener Salpeter gebildet haben möchte†). Die hohe Lagerung des Salpeters auf einer Gebirgsterrasse von über 1000 m ist für diese Erklärungsweise keine unüberwindliche Schwierigkeit.

Von anderer Seite ††) hat man die Beteiligung von Guanolagern an der Entstehung des Chilisalpeters plausibel zu machen gesucht, wie man denn in der

*) Nach Chili ist er ursprünglich nur genannt worden, weil von dort aus zuerst die Ausfuhr begann. Siehe Polakowsky: Der Chilisalpeter, 1895.

**) Details über das Vorkommen bei Wagner: Lehrb. d. Düngerfabrikation, 1878, p. 69, und Neumayr: Erdgeschichte, II, p. 845.

***)) Es kommen recente Seemuscheln in den unterliegenden Schichten vor. Vergl. ebenda.

†) Vergl. Noellner: Journ. f. pr. Chem., B. 102, p. 459. Derselbe legt bei dieser Hypothese besonders auf den Jodgehalt des Chilisalpeters grossen Wert.

††) Vergl. Thiercelin: Ann. d. Chem. et Phys., T. 13, p. 160.

That Reste von Guano in den den Salpeter überdeckenden Bodenschichten häufig antrifft, auch die noch bleibenden Schwierigkeiten durch die Annahme des Einwehens staubförmigen Guanos (in Nachfolge der Richthofen'schen Lösstheorie) zu beseitigen gesucht. — Bei Acceptierung dieser Hypothesen scheint schwierig einzusehen*), was aus dem Chlor des Seesalzes, was aus dem Phosphor des Guanos geworden ist, denn die Analysen des unverarbeiteten Chilisalpers weisen fast immer nur verhältnismässig geringe Mengen von Chlor und Phosphorsäure nach u. s. w. Indessen, wenn man die Eigenschaft des Salpers, in kapillaren Hohlräumen sich als konzentrierte Lösung mit besonderer Raschheit fortzubewegen berücksichtigt, so ist auch diese Schwierigkeit nicht unüberwindlich**).

Am wahrscheinlichsten ist wohl die Annahme, dass man erst durch die Wechselwirkung von Kochsalz und kohlensaurem Kalke unter Mitwirkung eines Übermaasses von Kohlensäure Soda entstehen lässt, wozu die benachbarten Becken mit Auswitterungen dieses Salzes eine sehr willkommene Stütze bieten. Dann lässt man (in der Theorie) die Soda wie in den gewöhnlichen Alkaliböden effloreszieren und mit stickstoffhaltigen Stoffen in Berührung kommen und mit Hilfe von niederen Organismen, den früher besprochenen Nitrifikationsmonaden, Natronnitrat entstehen. Mehr als sich eine Vorstellung davon verschaffen, wie der Prozess etwa zu stande gekommen sein könnte, ist bei diesen wie bei vielen anderen geologischen Prozessen zur Zeit nicht möglich.

Der Chilisalper, wie er in den Handel gelangt, ist schon das Produkt einer rohen Reinigung und von den fremden Beimischungen ziemlich befreit. Derselbe hat, wenn nicht verfälscht, einen Gehalt von 89—99 % salpetersaurem Natron entsprechend 14—16 % Stickstoff. Der Preis ist gegenwärtig ein solcher, dass er die allgemeine Anwendung dieses Spezialdüngemittels gestattet; ja sein Preis regiert bis zu einem gewissen Grade den Preis der anderen Stickstoffdünger.

Eine Zeit lang wurde von denselben Lagern aus ein kalihaltiger Chilisalper mit etwa 6 % Kali und darüber in den Handel gebracht; aber dessen Vorkommen scheint nicht allgemein genug gewesen zu sein, um einen regelmässigen Export zu versichern. Im Gegenteil ist der kalihaltige Chilisalper (ob ganz mit Recht?) im Handel weniger geschätzt, da er (des höheren Äquivalentgewichts des Kalis wegen) stickstoffärmer ist und das Produkt nach seinem Gehalte an Salpetersäure bezahlt wird.

Über die Anwendung dieses Düngemittels lässt sich schon hier sagen, dass man es für Sommergewächse nicht im Herbst ausstreuen soll***), sondern kurz vor der Aussaat der zu ernährenden Pflanze, auch sehr zweckmässig als Kopfdüngung auf die schon entwickelte — und zweckmässig in verschiedenen kleinen Portionen. Ja, der

*) Namentlich wenn man berücksichtigt, dass in den regenarmen Gegenden der Salzgehalt des Bodens durch Auswaschung sich nicht vermindert. Vergl. in dieser Beziehung die Hilgard'schen Studien in der Abteilung Bodenkunde dieser Vorlesungen.

**) Bei Versuchen, welche der Verfasser dieser Vorlesungen angestellt hat, aus Sand Kochsalz und Salper effloreszieren zu lassen, hat übrigens das erstere in seiner Wanderungsfähigkeit den Sieg davon getragen.

***) Man hat früher übrigens die Gefahren der Auswaschung sehr übertrieben.

Salpeter ist eigentlich das einzige künstliche Düngemittel, welches eine Verwendung als solche zulässt; aber auch bei ihm greift man besser nur zu dieser Verwendungsart, wenn ein Unterbringen nicht mehr möglich ist. — Man achte weiter auf Feinkörnigkeit des gelieferten Salzes. Ferner kann gesagt werden, dass man den Chilisalpeter beinahe niemals als ausschliesslichen Dünger benutzen darf, sondern in der Regel mit Phosphorsäure zusammen; für sich allein nur etwa wie die Jauche, um einer zurückgebliebenen Saat, zumal ausgewintertem Getreide, nachzuhelfen, um das Wachstum einer Pflanze zu beschleunigen. — In jedem Falle gehört seine Verwendung der intensiven Bewirtschaftungsweise an.

Dass man mit Salpeterdüngung, wie überhaupt mit jeder Stickstoffdüngung, etwas ängstlicher bezüglich der Rentabilität sein muss und dieselbe daher in der mehr extensiven Landwirtschaft gerne vermeidet, ergibt sich auch noch aus einem anderen durch P. Wagner zuerst in die Düngerlehre eingeführten Gesichtspunkt, welcher aus dem Folgenden zur Genüge erhellen wird. Jeder Pflanzennährstoff wird nur dann einen Mehrertrag geben können, wenn er in disponibler Form im Boden in zu geringer Menge für die betreffende Kultur anwesend ist, und der durch denselben bewirkte Mehrertrag wird, soweit die Pflanze sich desselben bemächtigen konnte, proportional dem in nicht zu grossen Mengen verabreichten Bestandteil sein, also dass z. B., wenn eine normale Getreideernte ein Prozent Phosphorsäure einschliesst, unter den günstigsten Umständen mit einem Kilogramm disponibler Phosphorsäure hundert Kilogramm Getreide erzeugt werden können. Im allgemeinen ist nun dieses Verhältnis für die Aschenbestandteile, wie dieselben nun auch heissen mögen, ein sehr weites — entsprechend dem geringen Gehalte der Pflanzen an Asche —, von denen doch ein jeder unumgänglich notwendig ist. Da zudem die Aschenbestandteile wirtschaftlich leicht zu beschaffen und daher nicht sehr teuer sind — die verhältnismässig teure Phosphorsäure kostet nie mehr als $\frac{1}{2}$ Mark pro Kilogramm —, so leuchtet ein, dass ein so kolossaler Mehrertrag sich immer bezahlt macht und daher bei der Düngung gewöhnlich überhaupt nur in Frage kommt, ob ein entsprechender Mehrertrag zu erzielen ist.

Dies ist anders mit dem Stickstoff, welcher als Salpeter und auch in jeder anderen Form teuer ist (gegenwärtig über 1 Mark per Kilogramm und früher noch teurer) und aus welchem sich in der Pflanze, auch wenn nichts im Boden ausgespült oder sonst für die Produktion verloren wird, sich nur etwa die sechsfache Menge von Eiweissstoffen erzeugt, so dass sich die Erzeugungskosten von etwa 6 Kilogramm von diesen Stoffen durch Stickstoffdüngung auf reichlich 1 Mark beziffern. Dies mag nun für Eiweiss in der Form von Körnern und anderen zur menschlichen Ernährung dienenden Produkten, selbst bei den jetzigen unerhört niedrigen Preisen derselben, noch ein sehr billiger Preis sein; bei der Erzeugung von Heu und anderem Viehfutter sind diese Kosten sehr erheblich im Verhältnis zum Preise der Produkte, namentlich in guten Futterjahren und bei der Heranziehung von Leguminosen, die ja auch unter den Wiesengewächsen eine grosse Rolle spielen, zur Eiweissproduktion. So entsteht hier bei etwas verschwenderischer Anwendung der Stickstoffdüngung zum erstenmal die Frage, ob die Mehrproduktion gegen die Düngungskosten aufwiegt.

Aus demselben Gesichtspunkt ergibt sich die Richtigkeit der zuerst so barock scheinenden Lehre von der rentableren Anwendung der Stickstoffdüngung zu Zuckerrüben und Kartoffeln und anderen stickstoffarmen Gewächsen, weil bei diesen mit dem Mehrertrag an Eiweissstoffen ein sehr stattlicher Mehrertrag an Kohlenhydraten aus atmosphärischen Nährstoffen kostenfrei nebenherläuft.

Um noch einer ganz spezifischen Anwendung zu erwähnen, so ist in Übereinstimmung mit der eben gemachten allgemeinen Bemerkung mitzuteilen, dass man neuerdings Zuckerrüben ohne Schaden für den Zuckergehalt mit recht grossen Mengen von Chilisalpeter düngt, aber in Übereinstimmung mit vorhin gemachten Bemerkungen nur bei gleichzeitiger Verwendung von entsprechenden Dosen von Phosphorsäure. Der letztere Zusatz geschieht gerade in Berücksichtigung der Qualität der Ernte, weil man bemerkt hat, dass viel Stickstoff die Ernte vermehrt, aber die Reife verzögert*), während die Phosphorsäure und auch andere Aschenbestandteile gerade die Ausreifung von Körnern sowohl als Wurzeln begünstigen. Dazu kommt dann wieder die verhältnismässig grosse Billigkeit der Aschenbestandteile, mit denen man aus diesem Grunde nicht ängstlich zu sparen braucht.

Genauer dargelegt verhält sich die zuletzt berührte Sache so. Bei der natürlichen Pflanzenernährung, wo durch verwesende organische Stoffe täglich eine kleine Menge Stickstoff disponibel wird, reichen die Aschenbestandteile leichter aus für den durch den Stickstoff beherrschten täglichen Zuwachs. Wird nun aber durch Düngung mit Salpeter auf einmal eine grosse Menge von Stickstoff zur Verfügung gestellt, so bekommt dadurch die Produktion einen gewaltigen Anstoss; die Wurzeln der Rüben schwellen gewaltig, die Bestockung des Getreides wird überreichlich und nun fehlt es in der Folge leicht an den nötigen Aschenbestandteilen, um die vergrösserte Pflanzenmasse bis zur Reife resp. der Ausbildung der Körner normal zu ernähren. Daher zuckerarme Rüben und grosser Strohertrag. Der Stickstoff hat allerdings theoretisch keine Sonderstellung in der Pflanzenernährung, sondern nur praktisch, weil er gewöhnlich im Minimum anwesend ist und so die Grösse der Produktion regiert. Wird derselbe plötzlich vermehrt, so wird die Produktion, bei der möglichen Erschöpfung an anderen Produktionsfaktoren, leicht in eine verkehrte Richtung gedrängt**). Mit einer genügenden Menge von Aschenbestandteilen zusammen kann man also ruhig den die Vegetation jagenden Salpeter ohne Nachteil befürchten zu müssen für die verschiedensten Kulturen gebrauchen, und nur die Kleearten und die meisten anderen Leguminosen machen hier natürlich eine Ausnahme, welche sich übrigens nur gegen die Rentabilität einer solchen Verwendung richtet***).

*) Dies steht in Zusammenhang mit früher besprochenen Gesichtspunkten. Vergl. auch Landw. Versuchszt., 41, p. 440.

**) Dieser Gesichtspunkt am durchsichtigsten besprochen von P. Wagner: Die Steigerung der Bodenrerträge durch Stickstoffdüngung, 1887, p. 53 u. f.

***) In Bezug auf diesen mehrfach berührten Punkt finde ich besonders schlagend die Resultate der vieljährigen Wiesendüngungsversuche zu Rothamsted, wonach nach stickstoffreicher Düngung die echten Gräser alle andern Pflanzen verdrängen, nach einer blossen Düngung mit Aschenbestandteilen ein Maximum von beinahe einem Viertel des Ganzen an Leguminosen erscheint, während ohne alle Düngung die unkrautartigen Pflanzen relativ in den Vordergrund sich drängen.

Die *Ammoniakverbindungen*, welche zur Düngung Verwendung finden, nehmen samt und sonders ihren unmittelbaren Ursprung aus technischen Etablissements, wo sie als Abfallprodukte, seltener als Hauptprodukte von künstlich eingeleiteten Prozessen entstehen. Die in der Natur vorkommenden (schon vorhin berührten) Ammoniaksalze, wie wir sie in der Nähe von Vulkanen vorfinden, sind in ihrem Auftreten nicht bedeutend genug, um hier irgendwie in Betracht zu kommen.

Als technisches Abfallprodukt treten die Ammoniakverbindungen in sehr grossem Maassstab, wenn auch in sehr verdünnter Form, bei der Gasfabrikation resp. der Coaksfabrikation, neuerdings auch bei den Hochöfen auf. Auch menschliche Fäkalien werden, wie wir früher gesehen haben, gegenwärtig zuweilen auf schwefelsaures Ammoniak verarbeitet. Die Steinkohlen enthalten ganz analog dem Torf*) und wie alle fossilen Brennmaterien sehr erhebliche Mengen (durchschnittlich etwa $\frac{3}{4}\%$) von Stickstoff, welcher bei der trockenen Destillation jener zum grössten Teil als Ammoniak (resp. kohlen-saures Ammoniak) entweicht; dieses letztere ist in dem rohen Steinkohlengas enthalten. Da aber nun das Leuchtgas, ehe man es in den Gasometer und in die Leitungen treten lässt, verschiedenen Reinigungsprozessen unterworfen wird, worunter auch das einfache Waschen durch Wasser eine Rolle spielt, so sammelt sich in diesem Wasser neben einigen andern Destillationsprodukten auch Ammoniak an. Dieses ammoniakhaltige Waschwasser oder „*Gaswasser*“ dient in seltenen Fällen direkt als Düngemittel und kann z. B. mit Wasser verdünnt zum Überrieseln der Wiesen, rentabler noch für Hafer benutzt werden, ist aber natürlich in diesem verdünnten Zustande nicht auf grössere Entfernungen transportabel, oder aus demselben werden (durch Destillation mit Kalk und Auffangen in Säure) Ammoniaksalze, wie namentlich schwefelsaures Ammoniak dargestellt. Die so resultierenden Ammoniaksalze gelangen dann auch in den Düngerhandel und sind natürlich dem Gaswasser gegenüber als ein konzentrierter Handelsdünger ausgezeichnet.

Das *Gaswasser* ist je nach den herrschenden Reinigungsmethoden natürlich verschieden reich an Ammoniak; man wird aber vielleicht im Durchschnitt nur $\frac{1}{2}$ Prozent (kaustisches) Ammoniak darin annehmen dürfen.

Das *schwefelsaure Ammoniak*, welches, wie gesagt, zur Zeit grösstenteils**) aus diesen Gaswässern dargestellt wird, gelangt in sehr reiner Form in den Handel, so dass man, nahezu entsprechend der Formel, 21% Stickstoff in demselben voraussetzen darf. Nur ein, freilich weniger in den Stickstoffprozenten bemerkbarer, aber analytisch leicht kontrollierbarer Gehalt an *Rhodanverbindungen*, welche auf das Wachstum mancher Pflanzen, namentlich Gerste, schädigend einwirken, ist neuerdings häufiger zum Gegenstande unangenehmer Erörterungen geworden.

Dass man, seitdem man die Ammoniaksalze zu Düngungszwecken verwendet, deren Fabrikation aus tierischen Abfällen mehr und mehr aufgegeben hat, ist einleuchtend, da es weit einfacher wäre, jene direkt dem Boden einzuverleiben oder sie zur Kompostbereitung zu benutzen. Soweit diese noch heute in die Technik gelangen,

*) Vergl. über Stickstoff in Humussubstanzen die Bodenkunde, 5. Vorlesung, p. 71 u. f.

**) Auch stickstoffhaltige Schiefer werden neuerdings in England im grossen auf Ammoniak verarbeitet.

dienen sie vielmehr zur Blutlaugensalzfabrikation und zur Erzeugung von dergleichen wertvolleren Produkten. Nur bei der trockenen Destillation der Knochen zum Behufe der Darstellung der Knochenkohle werden noch aus solchen Abfällen Ammoniaksalze für die Landwirtschaft gewonnen.

Aus dem Torfe und zumeist aus den wertlosen Abfällen desselben, in welchen ja ungeheure Schätze an gebundenem Stickstoff verborgen liegen, sucht man neuerdings auch Ammoniaksalz zu gewinnen, und zwar nach dem Groouven'schen Patent, nach welchem überhitzter Wasserdampf über den glühenden Torf geleitet wird, und welcher Vorgang, was den Stickstoff angeht, mit der Bildung von Ammoniak abschliesst. Dieser Prozess, dem eine grosse Düngfirma bedeutende Summen geopfert hat, ist indessen nicht (angeblich wegen Fehlens eines widerstandsfähigen Retortenmaterials) auf eine Stufe der Vollkommenheit gebracht worden, dass praktische Resultate daraus entsprungen wären.

Für die Anwendung der Ammoniaksalze gelten im allgemeinen dieselben Gesichtspunkte wie für die des Chilisalpeters, nur dass man bei der Ausstreuerung der ersteren wegen ihrer Absorbierbarkeit nicht nötig hat, in der Zeit so nahe an die Pflanze, die mit denselben ernährt werden soll, zu rücken.

Will man Ammoniak und Salpeter in der praktischen Wirkungsweise miteinander vergleichen, so kann man etwa sagen, dass im allgemeinen, und besonders für kalkarme Bodenarten, der letztere eine sicherere Wirkung zeigt*), dass aber hinsichtlich bestimmter Pflanzen Unterschiede in dieser Richtung bestehen, welche eines aufmerksamen Studiums würdig sind. Bekannt ist in dieser Richtung u. a., dass man die meisten Getreidesorten jederzeit mit Ammoniak düngen darf, dass man dagegen, wenn man Hackfrüchten eine Stickstoffdüngung zukommen lassen will, im Frühjahr Salpeter wählen muss, und im Falle man Ammoniak verwendet, dieses in vielen Fällen schon im Herbst zu geben hat, um dem Ammoniak, gegen welches diese Gewächse undankbar sind, Zeit zu lassen, in Salpetersäure überzugehen.

Im übrigen sei auch für diese Form der Stickstoffdüngung nochmals daran erinnert, dass hinsichtlich der rentablen Verwendung P. Wagner auf einen neuen und fasslichen Gesichtspunkt aufmerksam gemacht hat, und dass ein sehr stickstoffarmes Gewächs durch dieselbe Menge künstlich zugeführten Stickstoffes einen grösseren Mehrertrag liefern wird als eine eiweissreiche Pflanze, zu deren Ertragsvermehrung natürlich viel mehr Stickstoff erforderlich ist.* Wir müssen dabei immer vor Augen behalten, dass der Wert des Ertragnisses sich nicht ausschliesslich bemisst nach der darin enthaltenen Eiweisssubstanz, sondern auch nach dem Gehalte an kostenfreier miterzeugter stickstofffreier organischer Stoffen und namentlich nach dem Werte des Eiweisses. Hierdurch wird noch mehr deutlich, dass die Getreidearten in erster Linie eine Ammoniakdüngung beanspruchen dürfen, und die stickstoffarmen Hackfrüchte wieder sehr dankbar für Salpeter sind, während für Grasland die Vorteile solcher Düngungen häufig zweifelhaft sind.

Bei den erstgenannten Gewächsen wie bei den Produkten einer intensiven gartenmässigen Kultur ist also eine kräftige Stickstoffdüngung am meisten am Platze.

*) Vergl. P. Wagner: Einige praktisch wichtige Düngerfragen, 1884, p. 36.

Dieses Element findet in derartigen Produkten eine gute Verwertung, und da es gewöhnlich im Minimum anwesend ist, so erscheint diese Verwertung auch sichergestellt.

Dass wir trotzdem auf gewöhnlichem Ackerboden allzureichlichen Stickstoffdüngungen auch bei diesen Gewächsen nicht immer das Wort reden, darf mithin nur zum kleinsten Teile auf den Gesichtspunkt der Verschwendung des teuersten aller Pflanzennährstoffe bei nicht entsprechender Vertretung der übrigen zurückgeführt werden, sondern beruht vielmehr in erster Linie, da der Boden diese in der Regel noch zu liefern vermag, auf der Furcht, die Qualität der Ernte zu schädigen.

Dieses kann einmal statthaben infolge allzureichlicher räumlicher Entwicklung, infolge deren die Pflanzen einander beschatten und so den Produktionsprozess und mit demselben die Erzeugung von Kohlenhydraten, indirekt auch des als festen Baumaterials so wichtigen Zellstoffs beeinträchtigen (Lagergetreide); daher bei Futtergewächsen dieser Gesichtspunkt beinahe ganz in Wegfall kommt und, wenn umgekehrt ein lückenhafter Stand eines Gewächses beobachtet wird, die einseitige Stickstoffdüngung selbst empfehlenswert wird. Eine andere Qualitätsschädigung kann die starke Stickstoffdüngung bekanntlich veranlassen dadurch, dass die Fortentwicklung der Pflanze zeitlich zu sehr ausgedehnt wird und so namentlich bei Wurzelgewächsen, bei welchen man bezüglich des Zeitpunkts der Ernte durch das Klima gebunden ist, die Reife, die in einer Anhäufung von Kohlenhydraten in Reserveorganen besteht, verzögert wird.

Das *Blutmehl*, ein Düngemittel, das seine Wirkung beinahe ausschliesslich dem Stickstoffgehalt verdankt, haben wir schon früher beiläufig erwähnt. Dasselbe wird durch Trocknen von Blut aus Schlachtereien dargestellt, enthält nur Bruchteile von Prozenten von Phosphorsäure und Kali und ungefähr 10 % Stickstoff in ziemlich leicht verfügbarer Form.

Eine dritte Gruppe von spezifischen Düngemitteln enthält als wertvollen Bestandteil denjenigen Pflanzennährstoff, an dem es nächst Stickstoff und Phosphorsäure im Boden am häufigsten gebreicht, — *das Kali*.

Die *spezifischen Kalidünger*, zu deren Besprechung wir nunmehr übergehen, sind samt und sonders ihrer Entstehung nach rein mineralischer Natur. Es giebt keine Prozesse auf der Oberfläche unseres Planeten, die — wie wir dies namentlich für einige phosphorsäurereiche Dünger kennen gelernt haben — in der Richtung wirksam sind, irgend welche der organischen Welt entstammenden Stoffe in einer Weise umzubilden, dass spezifische Kalidünger aus denselben entstehen könnten; und selbst die kalireichsten Organismen und Organismenreste, wie z. B. Holzasche, enthalten in dem Zustande, in welchem sie gewöhnlich in den Handel gelangen, nicht so viel Kali neben den grossen Mengen von anderen Stoffen von Düngerwert, dass man sie auch nur als in dieser Richtung sehr einseitige Dünger bezeichnen könnte. Es gehören daher die spezifischen Kalidünger dem Mineralreich an; wir finden dieselben als Ablagerungen, für deren Entstehung wir irgend einen geologischen Prozess, dem wir die vorzugsweise Ansammlung von Kalisalzen zuschreiben müssen, in Anspruch zu nehmen uns gezwungen sehen.

Als kalihaltiges Material, das mehrfach schon versuchsweise zu Dünge Zwecken benutzt worden ist, wären hier zunächst der kalireiche Feldspat und die Gesteine,

in denen Feldspat in grosser Menge vorkommt, zu erwähnen. Auf das Vorkommen des Feldspats in den sogenannten plutonischen Gesteinen brauchen wir hier nicht näher zurückzukommen. Wir haben seiner Zeit beim Besprechen der Zusammensetzung der Gesteine gesehen*), dass es eben unter den krystallinischen Gesteinen eine Anzahl solcher giebt, die auch ihrer Pauschanalyse nach sehr beträchtliche Mengen von Kali enthalten, welches eben bei der Ausscheidung der einzelnen Mineralien aus jenen Gesteinen heraus — die wir uns gewöhnlich als eine Art von Auskrystallisieren aus einer feurig flüssigen, schon vorher gleichförmig gemischten Masse denken — zur Bildung von einzelnen sehr kalireichen Mineralien Veranlassung gegeben hat. Es ist nun einleuchtend, dass solche Gesteine, die auch zur Bildung von kalireichen Böden Veranlassung gegeben haben, als Dünger in derselben Richtung zu wirken im Stande sein müssen, vorzüglich wenn man die Verwitterung durch Vergrösserung der Oberfläche, also durch feines Mahlen zu begünstigen sucht.

Die Verwendung solcher kalireichen Silikate als Düngemittel ist jedoch — und dies jedenfalls wegen der Schwerverwitterbarkeit der Feldspate und Leucite — wohl noch nirgends eine sehr rentable Operation geworden**). Man hat zwar mehrfach versucht, kalireiche Gesteine, nachdem sie gemahlen, durch geeignete Schichtung mit verwesenden (Kohlensäure und Salpeter liefernden) Substanzen oder auch durch Behandeln mit englischer Schwefelsäure oder durch Glühen mit Kalk einer raschen Zersetzung entgegenzuführen und so zu verwerten, aber bis jetzt ohne sehr hervorragenden Erfolg für die landwirtschaftliche Praxis, so sehr auch derartige Versuche der Fortsetzung wert erscheinen. Auch fabrikmässig lässt sich das Feldspatpulver ausserordentlich billig herstellen, ohne dass infolge davon die Anwendung solcher Materialien zur Düngung eine irgendwie bedeutende geworden wäre, und nur der Chausseeschlamm einzelner Beschotterungsmaterialien, also ein Material, welches die Landwirte umsonst erhalten können, dessen Düngerwert sich übrigens in manchen Fällen nicht einmal ohne weiteres auf den Kaligehalt der Materialien zurückführen lässt, wird an einigen Orten von jenen der Verwendung gewürdigt.

Von weit bedeutenderer Wichtigkeit sind namentlich für Deutschland, in neuerer Zeit aber selbst für fernabgelegene Länder, sogar für Amerika***), die sehr ausgedehnten *Kalisalzablagerungen von Stassfurt*†) geworden.

Die kalihaltigen Rohmaterialien des Stassfurter Bergwerks sind die über dem Steinsalz gelegenen sog. Abraumsalze, welche im preussischen Teil des Bergwerks bei 816 Fuss Tiefe erscheinen und sich bis zu 974 Fuss Tiefe erstrecken, wo alsdann zunächst das Steinsalz mit sehr bedeutender Mächtigkeit beginnt. Im

*) Siehe hierüber Bodenkunde, 1. Vorlesung.

**) Von einzelnen Orten abgesehen. So sollen die Landleute um Eisenach feldspathaltiges Gestein in die Jauche werfen, worauf dasselbe sich innerhalb sechs Monaten zersetzen soll. Eine Zusammenstellung des Kaligehalts der verschiedensten Gesteinsarten von Stöckhardt findet sich in: Chem. Ackersm., 1873, p. 179.

***) Vom Chlorkalium gingen in den Jahren 1890–92 selbst 30% nach diesem überseeischen Lande, beinahe so viel, als in dieser Zeit in Deutschland selbst verbraucht wurde. Von Rohsalzen bleibt dagegen der Löwenanteil im Mutterlande.

†) In Galizien finden sich ähnliche und sogar reichere Ablagerungen, die aber noch lange nicht eine so grosse Bedeutung gewonnen haben.

anhaltinischen Teile der Ablagerungen braucht man nur halb so tief zu gehen, um auf die Abraumsalze zu gelangen; sie haben aber auch dort nahezu dieselbe Mächtigkeit.

Die überlagernden Gesteine folgen sich wie angegeben:

Aluvium,	
Dilluvium,	
Bunter Sandstein,	
Gips,	
Anhydrit,	
Jüngeres Steinsalz,	
Salzthon,	
Carnallitregion	} Abraumsalze,
Kieserit- „	
Polyhalit- „	
Älteres Steinsalz.	

Man denkt sich die Bildung jenes grossartigen Salzlagers in der Weise vor sich gegangen, dass ein vom Weltmeer durch irgend eine Terrainveränderung abgeschnittenes Salzbecken — die Übereinstimmung der Zusammensetzung der sogleich aufzuzählenden Salze mit der des Seewassers ist ja auch auffallend genug*) — der langsamen Verdunstung, ähnlich wie jetzt etwa das Tote Meer oder (wegen der grossen Mächtigkeit) noch besser die Bucht Kara Bugas des Kaspischen Meeres, welche durch einen unterseeischen Wall vom Hauptteile des Meeres abgetrennt ist**), unterlegen sei, und dass sich dabei die einzelnen Salze in der Reihenfolge ihrer Schwerlöslichkeit abgelagert hätten. Bedingung zur Abscheidung ist dabei nur, dass ein salzhaltiges Wasser stärker verdunstet, als z. B. das erstgenannte Meer aus dem entwaldeten Palästina Zufluss erhält, oder dass wie in dem letztgenannten Falle bei mässiger Verdampfung stets neues Salzwasser zuströmt. So habe sich notwendig das wenigstens in der ursprünglichen Mutterlauge schwerlöslichere Kochsalz, abwechselnd mit Anhydritschnüren, früher, also weiter unten ablagern müssen als die Doppelsalze von Kali und Magnesia, die wir in den oberen Abraumschichten mehr vertreten finden. Sodann haben sekundäre Prozesse, Eindringen von Süsswasser in die Ablagerungen, Auflösen und Wiederabscheiden aus denselben, bei der Gestaltung ihre Rolle gespielt***).

*) In Analysen von Seewasser ist gefunden:

NaCl 2,5 — 2,8 ‰	CaSO ₄ 0,16 — 0,21 ‰
NaBr 0,03 — 0,04 „	MgSO ₄ 0,06 — 0,11 „
K ₂ SO ₄ 0,14 — 0,17 „	MgCl ₂ 0,33 — 0,46 „

**) Vergl. Neumayr: Erdgeschichte.

***). Namentlich wird von Sachverständigen angenommen, dass Kainit und Sylvin erst durch sekundäre Einwirkungen von Salzlösungen aus bereits vorher gebildeten Mineralien Entstehung genommen hätten. Vergl. P. Wagner: Lehrb. d. Düngerlehre, 1877, p. 121 u. f. Dasselbst auch geologische Details.

Unter den sogenannten Abraumsalzen werden etwa 10 verschiedene Mineralien unterschieden*), von denen jedoch nur 5, nämlich der *Polyhalit*, *Krugit*, *Carnallit*, *Sylvin* oder *Sylvinit* und *Kainit*, kalihaltig sind und nur 4 wesentlich zur Düngerefabrikation Verwendung finden, nämlich drei kalihaltige Mineralien, der *Krugit*, *Carnallit* und *Kainit*, und ein kalifreies, der *Kieserit*. Früher versuchte man das rohe, sich durch grossen Chlorgehalt auszeichnende Abraumsalz, ohne weitere Auslesung und Verarbeitung vorzunehmen, auf den Düngemarkt zu werfen. Höchstens hatte man solchen rohen Kalisalzen etwas gereinigtes Chlorkalium zugesetzt, und so enthielten dieselben neben verhältnismässig wenig Kali (10 % und weniger) grosse Mengen von unter Umständen für den Pflanzenwuchs schädlichen Bestandteilen, wie Chlormagnesium und grössere Mengen von Chlornatrium, die ausserdem die Transportfähigkeit des angebotenen Produkts wesentlich herabdrückten.

Man sah sich aber bald genötigt, nicht schlechtweg den Abfall dem Landwirte zuzuweisen, sondern für diesen ebenso wie für die Technik Salze darzustellen, respektive für die Technik dargestellte Produkte zu verwenden, die eine für die Landwirtschaft günstigere Zusammensetzung hatten, und von solchen Produkten findet sich nun eine grosse Zahl von so verschiedener Reinheit und entsprechend wechselndem Düngewert im Handel, dass es schwierig ist, sich unter denselben zurecht zu finden. Namentlich tragen hierzu viel die unklaren und zum Teil euphemistischen Benennungen der Düngerpräparate bei.

Der in den obersten Schichten der Abraumsalze vorherrschende *Carnallit*, der nach der Formel $\text{KCl} + \text{MgCl}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ zusammengesetzt ist, enthält in dem Zustand aber, wie er gefördert wird, nur etwa 16 % Chlorkalium, da er mit Kochsalz und schwefelsaurer Magnesia und Chlormagnesium verunreinigt ist; auch ist derselbe durch kleine Mengen von Eisenglimmer rot gefärbt. Derselbe dient zur Darstellung von mehr oder weniger reinen Chlorkaliumpräparaten, die gewöhnlich als *dreifach* oder als *fünffach konzentriertes Kalisalz* in den Handel gebracht werden und dann je nach der Bezeichnung durchschnittlich 32 % oder 52 % Kali als Chlorkalium enthalten. Die Verunreinigung besteht wesentlich aus Kochsalz, und nur bei den unreineren Produkten ist ausserdem noch schwefelsaure Magnesia vorhanden. — Ursprünglich sind diese Chlorkaliumsalze nicht zu Dünge Zwecken, sondern für die Salpeter- und Alaunfabrikation dargestellt worden, und man versuchte die bei dieser Fabrikation sich ergebenden Abfälle, die ihrer Entstehungsweise nach neben ziemlich geringen Mengen Chlorkalium und schwefelsaurem Kali schwefelsaure Magnesia, Chlormagnesium und Kochsalz enthalten mussten, mit den übertriebensten Anpreisungen und unter dem leicht irreführenden Namen „*rohes schwefelsaures Kali*“ auf den Düngemarkt zu bringen. Dieses Salz hat sich unter den Düngemitteln, trotz der vielfach zweifelhaften Erfolge, die damit erzielt worden, lange Zeit wegen seines billigen Preises erhalten und scheint endlich erst dem weiter unten zu besprechenden günstiger zusammengesetzten *Kainit* gewichen zu sein.

*) Vergl. Ulbricht: Chem. Ackersmann, 1867, p. 283; Birnbaum: Die Kalidüngung in ihren Vorteilen und Gefahren, 1869; Reinwarth: Über die Kalisalzablagerungen bei Stassfurt etc., 1871; W. Rohde: Die Salzlager in Stassfurt, 1873; F. Bischof: Die Steinsalzwerte bei Stassfurt, 1875; am letzteren Orte ausführliche Litteraturangaben.

Es ist hier der Ort, an einiges zu erinnern, was schon früher über die eigentümliche Wirkung der Chlorverbindungen als Düngemittel ausgesagt wurde*). Ich hatte dort Gelegenheit, auf die Erfolge aufmerksam zu machen, welche namentlich bei der Kultur von Gewächsen, die sehr kalibedürftig sind, wie Rüben, Kartoffeln, Tabak, nach Kalidüngungen, und auf die, welche bei chlorhaltigen Düngungen mit grosser Regelmässigkeit einzutreten pflegen. Wir haben namentlich gesehen, dass, während die Qualität der genannten Gewächse unter dem Einfluss der kalihaltigen chlorfreien Dünger wesentlich verbessert werden kann, also z. B. durch Düngemittel mit schwefelsaurem Kali, die chlorhaltigen Düngemittel in der entgegengesetzten Richtung zu wirken pflegen, also den Zuckergehalt bei den Rüben, den Stärkemehlgehalt bei den Kartoffeln, die Verbrennlichkeit beim Tabak herabzudrücken bestrebt sind. Wenn es nun auch einige Pflanzen wie z. B. unsere Wiesengräser, Hafer und Buchweizen giebt, welche sehr unempfindlich gegen derartige Einflüsse sind, und auf die in manchen Fällen auch eine chlorhaltige Kalidüngung sehr günstig einzuwirken vermag, wenn es ferner Pflanzen wie Hanf und auch Flachs giebt, die unter dem Einflusse von Chloriden eine zähere Faser erwerben**), so darf doch nicht vergessen werden, dass gerade bei stark kalibedürftigen Pflanzen häufig die Vorteile einer Kalidüngung durch die Nachteile einer Chlordüngung aufgehoben werden.

Deshalb war für die Stassfurter Kalidüngerindustrie die Entdeckung eines Minerals unter den Abraumsalzen, aus dem die Darstellung eines kalireichen, aber chlorfreien Düngerpräparats ausführbar war, wahrhaft epochemachend. Im Jahre 1865 fand man unter den Abraumsalzen den *Kainit*, hauptsächlich in den oberen Schichten des anhaltinischen Lagers und, leider in nicht allzugrossen Mengen und daher nicht als besondere „Region“ auftretend, ein in der Regel farbloses und verhältnismässig hartes Mineral, das man bis dahin kaum beachtet hatte. Demselben kommt wahrscheinlich die Formel $K_2SO_4 + MgSO_4 + MgCl_2 + 6H_2O$ (oder auch ohne $MgCl_2$) zu, und es enthält ganz vorzugsweise schwefelsaure Salze, obgleich es in dem unreinen Zustande, wie es gefördert wird, nur $\pm 13\%$ Kali einschliesst.

Eine zu Wageningen angestellte Kainitanalyse ergab die folgenden Resultate:

Feuchtigkeit	19,0 %
Kali	13,9 „
Natron	10,2 „
Magnesia	10,9 „
Kalk	1,4 „
Schwefelsäure	22,3 „
Chlor	26,2 „
Unlöslich	0,4 „
ab Sauerstoff (für Chlor)	—5,9 „ .

Durch einfaches Kalcinieren dieses Kainits erhält man nun ein Düngesalz, das unter dem Namen „*rohe schwefelsaure Kalimagnesia*“ in den Handel kommt und

*) Vergl. die 17. Vorlesung, p. 274 des I. Teils.

**) Für den Hanf sind sogar aus diesem Gesichtspunkte Kochsalzdüngungen empfohlen worden und der Flachs gedeiht prächtig auf eben erst dem Meere abgewonnenen Kleyboden, wo man — charakteristisch genug — keinen Tabak bauen darf.

nun etwa 17 % Kali, daneben 26—35 % Kochsalz, 5—6 % Chlormagnesium und natürlich viel schwefelsaure Magnesia enthält. Die nur geringe Anreicherung an Kali lässt diesen Prozess indessen nicht zweckmässig erscheinen, und überwiegend bringt man daher den nur gepulverten *Kainit* als Düngesalz in den Handel. Das noch unveränderte Mineral zeigt unter Umständen schon eine gute Düngewirkung. Man empfahl ihn bald zur Bereicherung des Untergrundes an Kali, da der Kainit keiner so grossen absorbierenden Wirkung in der Krume unterliegt. Über eine noch viel weitergehende Bedeutung dieses Düngemittels werden wir sogleich noch zu reden haben*).

Aus dem Kainit wird ausserdem eine Reihe von ziemlich chlorfreien Salzen fabrikmässig erhalten, die bei Düngungsversuchen in Bezug auf Qualität in der Regel Gutes geleistet haben und deren Anwendbarkeit in der Landwirtschaft nur durch den ziemlich bedeutenden Preis dieser Präparate eingeschränkt wird. Das eine dieser Salze ist das „*gereinigte schwefelsaure Kali*“, welches aus dem Kainit nach einem mehrfach patentierten, doch teilweise wieder verlassenen Verfahren**) dargestellt wird und je nach dem Preis 40—50 % Kali und nur äusserst geringe Mengen von Chlormetallen enthält. Das meiste schwefelsaure Kali Stassfurts wird jedoch wohl immer analog dem schwefelsauren Natron aus gereinigtem Chlorkalium und freier Schwefelsäure gewonnen. Zwei andere solche aus dem Kainit gewonnenen Salze bestehen wesentlich aus dem Doppelsalz von schwefelsaurem Kali und schwefelsaurer Magnesia. Das eine, die sogenannte „*krystallisierte schwefelsaure Kalimagnesia*“, enthält dieses Doppelsalz mit mehreren Atomen Wasser zusammen krystallisiert, nur wenig Kochsalz (4 % etwa) und kein Chlormagnesium, welches letztere ja im Kainit noch als regelmässiger Bestandteil vorhanden ist. Dieses krystallisierte Salz wird nun als solches in den Düngerhandel gebracht, ein anderes wasserfreies Produkt wird aber durch Kalcinieren jenes Salzes erzielt, das dann unter dem Namen „*schwefelsaure Kalimagnesia*“ in den Handel kommt.

Für die beiden letzteren Salze ist also der Gehalt an Magnesia charakteristisch. Man sucht die schwefelsaure Magnesia bei der Fabrikation gar nicht zu entfernen, weil man derselben einen gewissen Düngerwert beilegt; und in der That haben wir es ja in diesem Salz mit einem Pflanzennährstoff zu thun, der sogar in dieser selben Form bei den Wasserkulturversuchen den Pflanzen mit Erfolg zugeführt wird. Dennoch ist der Düngerwert dieses Salzes für sich ein geringer, da dessen Bestandteile im natürlichen Boden meistens in genügender Menge vorhanden und auch durch Anbau noch nicht hinreichend vermindert sind, um durch ihre Zufuhr im allgemeinen erhebliche Mehrerträge erzielen zu können, und über etwaige indirekt düngende Wirkungen des Magnesiumsulfats wollen wir einstweilen noch hinwegsehen.

Das krystallisierte Salz enthält 20—22 %, das kalcinierte 25—30 % Kali, während im ersteren etwa 10 %, im letzteren 13 % Magnesia nachgewiesen werden können***).

*) Das Zusammenbacken des Kainits in den Säcken kann durch Beimischung von $2\frac{1}{2}\%$ Torfklein vermieden werden.

**) Vergl. auch hierüber Wagner: A. a. O., p. 140.

***) An Stelle des kalcinierten Salzes wurde auch mehrfach ein etwas geringeres Produkt,

In neuerer Zeit haben sich nach langjährigen und früher vielfach verfehlten Versuchen mehr geklärte Anschauungen bezüglich der Verwendung der Stassfurter Salze herausgebildet. Nachdem man mit den unreinen Abraumsalzen zunächst schlechte Erfahrungen gemacht hatte, ging man über zur Verwendung des gereinigten Chlorkaliums, und thatsächlich war dies ein Fortschritt, da man nun wenigstens mehr Kali auf dieselbe Menge von lästigem Chlor hatte, aber für manche schon näher spezifizierte Kulturen war auch auf diese Weise keine Kalidüngung möglich, ohne die Qualität des Gewächses auf Kosten der Quantität zu schädigen.

Einen grossen Fortschritt erhoffte man sodann durch die namentlich nach der Entdeckung des Kainits erleichterte Fabrikation der Sulfate. Aber auch hier blieb die Enttäuschung nicht aus; denn abgesehen, dass die Düngerkosten sich steigerten, reagierte die Pflanze verhältnismässig wenig auf die Sulfatdüngung, was theoretisch wenig wunder nehmen kann, wenn man bedenkt, wie fest die Verbindung ist, in welcher in diesem Falle das Kali geboten wird, und wie wenig die Pflanze, welche ja einen Überschuss von basischen Bestandteilen nötig hat, mit der Schwefelsäure beginnen kann*). Das Ausbleiben der Qualitätsschädigung bedeutet selbstredend gar wenig, wenn die quantitative Düngewirkung selber eingeschränkt wird.

Durch vielfache Versuche hatte man unterdessen reiche Erfahrungen gesammelt auf dem Gebiete der Kalidüngung**), und so entwickelte sich zuletzt die neueste Phase unserer Anschauungen, welche der Angelegenheit einen grossen Stoss vorwärts gegeben hat. Man schlug vor, wieder billige Rohsalze, natürlich die besten (verhältnismässig chlorärmsten), also hauptsächlich Kainit, zu verwenden, aber dieselben so in die Fruchtfolge einzuschalten, dass niemals ein chlorepfindliches Gewächs die frische Düngung erhält. Auf diese Weise wird der Boden zu Nutz und Frommen einer jeden nachfolgenden Pflanze mit Kali bereichert, während das nicht absorbierbare Chlor gebunden an die Base, welche im Boden im Überschuss vorhanden ist, gewöhnlich also Kalk, in den Untergrund ausgewaschen wird. So düngt man Hafer

das genau dieselbe Menge von schwefelsaurem Kali, aber sehr viel geringere Mengen von schwefelsaurer Magnesia und an Stelle dieser Wasser, schwefelsaures Natron und Unlösliches enthält, unter dem Namen „gereinigte schwefelsaure Kalimagnesia“ verkauft. Dieses Produkt wurde hergestellt durch Vermischen von zerstampftem *Kieserit*, also von schwefelsaurer Magnesia in sehr wenig löslicher Form mit schwefelsaurem Kali. Die beiden Hauptbestandteile sind in denselben nicht in äquivalenten Mengen vorhanden, bilden zusammen kein Doppelsalz, und darum soll namentlich dieses Salz für manche Zwecke weniger geeignet sein wie das krystallisierte Doppelsalz, welches eine grosse Löslichkeit besitzt.

*) Vergl. über diese Gesichtspunkte meine Abhandlung: Landw. Versuchsst., B. 26, p. 77. In derselben wurde auf die Erwünschtheit, das Kali nicht an einen gleichen Betrag von starken fixen Säuren gebunden, sondern lieber gebunden an durch die Pflanze zu bewältigende Säuren wie Salpetersäure oder an schwache Säuren von geringer osmotischer Befähigung, die nach der Assimilation des Kalis — im Boden zurückbleiben, wie Kieselsäure, Humussäure, dem Boden einzuverleiben, aufmerksam gemacht. Die aus diesem Gesichtspunkt empfohlenen Torfpräparate, mit alkalischen Mineralstoffen vermischt, scheinen in neuerer Zeit in der Praxis Bedeutung zu gewinnen. Vergl.: Über den Wert des Düngers aus Torfmuß und den eingedickten Laugen der Strontianzuckerfabriken von Märcker in Biedermann's Centralbl., 1885, p. 140.

**) Vergl. Märcker: Die Kalisalze etc., 1880.

und andere Gramineen mit Kainit, und die nachfolgenden Kartoffeln oder Zuckerrüben ziehen Vorteil davon und ein Teil der Düngerkosten wird häufig schon gut gemacht durch den Mehrertrag der Gramineen selber. Auch Lupinen, die dann zur Gründüngung dienen, werden zweckmässig mit einer starken Kainitdüngung*) versehen, welche letztere man passend schon im Herbste oder Vorwinter giebt, um die Ausspülung des Chlors schon beginnen zu lassen. Dasselbe gilt für die meisten andern Leguminosen, namentlich die Serradella und ebenso für die Wiesen, die sich sehr dankbar für Kalidüngung in dieser Form erwiesen haben. Ja, für diesen Zweck kann auch Carnallit, wenigstens bei nicht zu grosser Entfernung von Stassfurt (wegen der Transportkosten, die schwer auf dies nur 9prozentige Material drücken), eine gute Rente geben.

Für etwas weitere Entfernungen ist indessen der Kainit vorzuziehen. Als zweckmässigste Kalidünger haben sich neben diesem im allgemeinen das Chlorkalium und für die direkte Versorgung von chlorfeindlichen Gewächsen die gereinigte Kalimagnesia durch langjährige Erfahrung bewährt.

Endlich dient noch der *Kieserit*, welcher, wie wir gesehen, nichts weiter ist als schwefelsaure Magnesia mit einem Äquivalent Wasser, zur Darstellung von Düngesalzen. Derselbe wird natürlich auch nicht rein gefördert, sondern vermischt mit Kochsalz, Anhydrit und andern Körpern und muss erst durch hier nicht näher zu beschreibende Prozesse gereinigt werden. Es resultiert so ein Salz, das in den Handel gelangt, von etwa 70—76 % schwefelsaurer Magnesia, 14 % Gips, 9 % Wasser etc., und das sich wie der Kieserit selbst durch seine Schwerlöslichkeit auszeichnet. Dieses Salz heisst gewöhnlich „*rohe schwefelsaure Magnesia*“. Günstiger zusammengesetzt ist wieder der *Krugit*, der, ähnlich dem Polyhalit, neben Calciumsulfat noch Kalium- und Magnesiumsulfat enthält und daher in neuerer Zeit namentlich zum Einstreuen in Stallungen empfohlen wird. Leider scheinen, trotz der Benennung einer besonderen „*Region*“ unter den Abraumsalzen nach einem von beiden, beide nicht in genügenden Mengen vorzukommen, um auf eine regelmässige Gewinnung im grossen rechnen zu können.

Jedenfalls besitzen wir in den Stassfurter Abraumsalzen ein ausserordentlich kostbares Material, das der Landwirtschaft**) grosse Dienste zu leisten im stande ist. Manche der in den Handel gekommenen und noch kommenden Düngesalze sind zwar nur einer sehr beschränkten Anwendung fähig, und der hohe Gehalt an Kali wird häufig durch ungünstige Beimischungen und unpassende chemische Form seiner Wirksamkeit beraubt; aber seitdem man mehr und mehr gelernt hat, diese Übelstände zu vermeiden, seitdem man namentlich die kalibedürftigsten Pflanzen nicht mehr direkt düngt, sondern schon eine weniger empfindliche Vorfrucht damit versieht, dem ungünstig zusammengesetzten Dünger Zeit lassend, sich mit den Bestandteilen des Bodens umzusetzen, seitdem man m. a. W. mehr den Boden düngt als die Pflanze, kann der grosse Nutzen, den die Auffindung jener Stoffe für die Landwirtschaft mit sich bringt, nicht allein nicht mehr bezweifelt werden, sondern derselbe

*) Dieser Gedanke mit vieler Energie durchgeführt von Schultz-Lupitz: Die Kalidüngung auf leichtem Boden, 1882.

**) Über protektionistische Bestrebungen im Interesse der deutschen Landwirtschaft vergl. die schon citierte Broschüre von Schultz-Lupitz.

hat sich von Jahr zu Jahr mehr schlagend herausgestellt; und wenn auch für den Boden aller der Landgüter, die in Bezug auf Kali nur einen geringen Raubbau treiben — wie dies z. B. da geschieht, wo bei Stallmistbetrieb lediglich Korn und Viehprodukte ausgeführt werden —, der Ersatz des Kalis durch die Düngesalze in manchen Fällen noch nicht rentabel erscheint, so gilt doch ganz etwas anderes für die Landgüter, wo grossartige und dauernde Kartoffel- oder Zuckerrübenproduktion mit vollständiger Ausfuhr dieser Produkte besteht, und dies wird in Zukunft noch mehr gelten. Auch in Nordamerika hat man, wie gesagt, schon angefangen, z. B. auf den Landstrichen, wo seit lange Baumwolle produziert wird, den Ausfall an Kali zu fühlen und denselben durch Stassfurter Salze zu ersetzen. Ein Gleiches gilt für England, welches sich mit einem offenen Auge für den notwendigen Ersatz von Pflanzennährstoffen, die sonst erst in zweiter oder dritter Linie stehen, schon lange die reichhaltige Quelle zu nutze machte.

Zu den Gewächsen, die sich überwiegend dankbar erwiesen haben für eine Kalidüngung, gehören nach den verdienstvollen Märcker'schen Zusammenstellungen noch der Hafer (auch die andern Getreidearten), der Lein, der Klee, die Futterrüben und auch die Kartoffeln*).

Was im übrigen die Anwendung der Kalisalze betrifft, so ist nicht mehr nötig, zu bemerken, dass sie nur die Rolle von Beidüngern spielen können, d. h. von ihrem alleinigen Gebrauch ist nur in den selteneren Fällen ein guter Erfolg zu erwarten. Doch wird solcher konstatiert bei Lupinen und anderen Futter- und Gründüngungsgewächsen aus der Reihe der Leguminosen, welche manchmal die Phosphorsäure aus sehr unzugänglichen Verbindungen aufzuspüren vermögen. Im allgemeinen muss man sie gebrauchen neben einer Düngung mit natürlichen Düngern oder neben einer spezifischen Düngung mit Stickstoff oder Phosphorsäure, wobei dies „neben“ natürlich ein Getrennt-Ausstreuen in etwas verschiedenen Zeiten oder auch ein volles Jahr nacheinander nicht ausschliesst.

Die so verschiedenen und sich oft anscheinend widersprechenden Resultate der vielen angestellten Düngungsversuche haben aber allerdings auch das mit Sicherheit erwiesen, dass bei keiner anderen Düngung das Prinzip des absoluten Wiederersatzes des durch eine Ernte Entnommenen oder zu Entnehmenden sich weniger bewährt hat als gerade bei der Kalidüngung. Es sind auch nicht allein bestimmte Kulturen, für die sich eine Düngung mit Kalisalzen durchweg als nützlich erwiesen hat, sondern man hat noch mehr für bestimmte Bodenverhältnisse, vor allem für leichte Böden, Erfolge von ihr gehabt. Auf moorigen Wiesen z. B. hat man im ganzen gute Erfahrungen auch mit rohen Salzen gemacht. Meliorierte Moorböden sind wie überhaupt auf Kunstdünger häufig geradezu auf dieselben angewiesen. In gewissen Gegenden, namentlich auf Verwitterungsböden, will dagegen die landwirtschaftliche Bevölkerung durchaus nichts von Kalidünger wissen und stützt sich dabei auf die Erfolglosigkeit einer grösseren oder kleineren Reihe von Düngungsversuchen. Auf schweren Thonböden veranlassen die in Masse zu verwendenden rohen Kalisalze leicht

*) Vergl. ferner die sehr ausgedehnten Erfahrungen des genannten Forschers in dessen vielgelesenem Buche: Die Kalidüngung etc., Berlin 1892.

eine physikalische Bodenverschlechterung, die mit der Veränderung, welche wir früher bei Salzwasserüberschwemmung kennen gelernt haben, in eine Kategorie gehört*).

Manchmal versagt also die Wirkung oder ist, wenn sie eintritt, nicht dem Kali, sondern der Wirkung der andern Bestandteile der Stassfurter Salze zuzuschreiben, und es ist gewiss nicht sehr schwierig, die Ursache dieses Verhaltens einzusehen. Wir haben schon hervorgehoben, dass das Kali unter den Stoffen, welche im Boden im Verhältnis zum Bedarf der Gewächse im geringsten Maasse vorhanden sind, derjenige ist, der sich in seinem Vorkommen schon mehr den vielen andern Pflanzennährstoffen nähert, welche durchschnittlich im Überfluss vorhanden sind, und denen deshalb nur in seltenen Fällen eine Düngewirkung zukommt. Der Gehalt vieler Böden an Kali ist verhältnismässig bedeutend, und bei der reinen Stallmistwirtschaft wird in Korn und Fleisch nur sehr wenig Kali weggeführt — Mengen, die meistens lange Zeit durch den Verwitterungszuschuss oder auch, wenn Wässerwiesen vorhanden sind, durch das Berieselungswasser mehr als gedeckt werden können. Nur bei intensivem Rüben- oder Kartoffelbau, und wenn alle diese Produkte nach aussen verkauft werden und die mineralischen Teile derselben nicht in Presslingen und Schlempe und dergl. wieder auf die Felder gelangen, oder bei der Tabakkultur und dergl. wird auch der Kaligehalt des Bodens rapid zurückgehen können. Wenn dann solche angreifenden Kulturen zusammenfallen mit Länderstrecken, in denen infolge ihrer einseitigen Ablagerungsverhältnisse der Kalireichtum ein geringer ist, so werden die Kalidüngungen von Erfolg begleitet sein. Es ist also auch hier nicht eine engherzige Anwendung der Lehre vom strengen Ersatze, die uns zur Richtschnur dienen muss, sondern jene giebt uns nur einen ungefähren, freilich sehr willkommenen Fingerzeig, ob in einem näher bestimmten Falle Erfolge von einer Kalidüngung zu erwarten seien. — Soviel an dieser Stelle. Wir werden bald noch von einem ganz andern Standpunkte aus, auf allgemeine wirtschaftliche Betrachtungen gestützt, die Ersatzfrage zu erläutern haben.

Mit den Kalidüngern ist dann die Reihe der spezifischen Düngemittel geschlossen; denn obgleich noch eine Anzahl von sehr einseitig zusammengesetzten Düngemitteln in sehr allgemeinem Gebrauche ist — Düngemittel, die sich durch ihren Gehalt an andern Pflanzennährstoffen auszeichnen, z. B. wesentlich aus Kalk bestehen oder sehr schwefelsäurereich sind —, so ist doch die Düngewirkung dieser Stoffe häufiger auf andere Ursachen zurückzuführen als auf direkte Ernährung der Pflanze durch dieselben. Diese Substanzen werden dann in der nächsten Vorlesung als *indirekte Düngemittel* Behandlung finden.

Nach Besprechung der spezifischen künstlichen Düngemittel ist es denn auch wohl an der Zeit, dass wir ein Wort sagen über die gemischten Dünger des Handels, die zwar in Deutschland beinahe ganz aus dem Düngerhandel verschwunden sind, aber in Frankreich aus einem doktrinären Gesichtspunkte, in England aus einem praktischen sich noch gehalten haben. Zunächst scheint sehr vieles für die Anwendung solcher Düngergemische, in denen die drei praktisch wichtigen Nährstoffe,

*) Vergl. Bodenkunde, Vorl. 10.

Stickstoff, Phosphorsäure und Kali vertreten sind, zu sprechen. Erst eben noch hatten wir bei den Stassfurter Salzen hervorzuheben, dass ihrer einseitigen Düngewirkung wegen ihre Wirksamkeit sehr häufig bedingt sei durch die Anwesenheit der beiden anderen meistwirksamen Nährstoffe. Sodann haben bestimmte Kulturpflanzen ihr spezifisches Düngungsbedürfnis. Kleeartige Gewächse gebrauchen viel Kali und Phosphorsäure, wenig Stickstoff, Tabak viel von letzterem und Kali, aber wenig Phosphorsäure. Wenn man also künstliche Düngegemische macht, welche diesem spezifischen Bedürfnisse Rechnung tragen, und sie benennt nach der Pflanze, die dadurch ernährt werden soll, z. B. als Tabakdünger u. s. w., so wird hierdurch nicht allein den eben erwähnten Umständen Rechnung getragen, sondern dem Landwirte auch die nähere Kenntnis des Nährstoffbedürfnisses seiner Gewächse erspart; er braucht nur bei dem Düngerhändler das Gewächs zu nennen, das er bauen will, und erhält nach einem feststehenden Rezepte das, was er nötig hat.

Aber gerade in dem Rezeptmässigen liegt das Übel; denn es hemmt die fortschreitende Erkenntnis und verhindert die Entwicklung einer freien Düngewirtschaft. Ein Rezept gegen den Husten mag man sich bei dem Apotheker machen lassen; dabei ist es ja ganz gleichgültig, ob es einige Groschen mehr oder weniger kostet, wenn es nur hilft. Anders in der Landwirtschaft, die ein Gewerbe ist zum Zwecke des Gewinns und dazu eines, bei dem ein scharfes Rechnen durchaus not thut. Wenn also bei der Düngung die Kosten ein sehr wichtiger Faktor sind, dann muss in erster Linie darauf hingewiesen werden, dass die natürlichen Düngestoffe, ihren Gehalt an Nährstoffen als Maassstab angenommen, mit wenigen Ausnahmen billiger sind als die billigsten künstlichen Dünger, was selbstverständlich erscheint, wenn man ihre Natur als Abfallstoffe und ihre sehr geringe Marktfähigkeit in Anschlag bringt. Eine Ausnahme hiervon ergiebt sich nur, wenn bei grosser technischer Verbesserung der Gewinnung der Handelsdünger die natürlichen Dünger, die zudem nur in engeren Kreisen verhandelt werden, diese Preiserniedrigung nicht gleich mitmachen, was aber auf einer übertriebenen Wertschätzung der letzteren, also auf Unkenntnis beruht und daher als eine wirtschaftliche Anomalie bezeichnet werden muss. Daraus folgt, dass, sobald man aus den künstlichen Düngemitteln ein Gemisch darstellt, das auf eine vollständige Pflanzepernährung Anspruch macht und wobei die Fabrikanten die Weise der Mischung mit einiger Geheimniskrämerei zu umhüllen lieben und daher verhältnismässig hohe Preise dafür in Rechnung stellen, dieses beinahe niemals die Konkurrenz mit den natürlichen Düngern auszuhalten im stande ist. Die Rolle der künstlichen Dünger im allgemeinen ist eben nicht, die natürlichen Düngemittel zu ersetzen, sondern sie zu ergänzen; sie sind in erster Linie Beidünger neben diesen — für ganz bestimmte Fälle einseitigen Nährstoffbedarfs*).

*) Die Geschichte der gemischten Dünger giebt denn auch Belege für diese Anschauungsweise. Der erste Darsteller jener war natürlich Liebig, dessen Bestreben in seiner radikalsten Periode es war, den Stalldünger durch den Mineraldünger zu ersetzen. Dann wurden die Gemische aus ganz ähnlichen Gesichtspunkten von George Ville, der wohl den intimen Beziehungen zu Napoleon III. die grössere Hälfte seines Rufes verdankt, „selbständig nachentdeckt“. Die späteren Modifikationen seiner engrais chimiques sind ebensoviel Zugeständnisse an das Widerstreben der praktischen Verhältnisse, die sich eben einer willkürlichen Theorie

Neben diesem wichtigsten Gesichtspunkte, der gegen die Düngergemische spricht, ist dann noch zu nennen die Schwierigkeit, dabei dem spezifischen Gehalte des Bodens Rechnung zu tragen, ohne irgend einen Nährstoff im Übermaasse zuzuführen und also zu verschwenden, ferner die *verschiedene Unterbringungsweise* und *-Zeit* der einzelnen Bestandteile, z. B. Kali, das man zweckmässig im Herbste giebt, Salpeter im Frühjahr; überdies der unnötige Kostenaufwand für eine zuweitgetriebene Reindarstellung der einzelnen Düngerkomponenten, wie z. B. Kalisalpeter. Endlich bereiten die Gemische der Düngerkontrolle Schwierigkeiten — man hat z. B. drei Analyseelutitäten statt einer einzigen —, von denen der unsolide Fabrikant den Nutzen zieht*).

Zum Schlusse dieser Vorlesung seien dann noch einige allgemeine Prinzipien darüber mitgeteilt, welche Düngergemische schon aus rein technischen Gründen, weil nämlich infolge des Zusammenmischens ein Zurückgehen des Gehaltes an wertvollen Bestandteilen oder sonst eine unliebsame Veränderung zu befürchten ist, zu vermeiden sind. Vielleicht dass ein solcher kleiner Wegweiser ausser den Fabrikanten den Landwirten willkommen ist, welche es der Billigkeit halber vorziehen, die verschiedenen Ingredienzien ihrer Düngungen einzeln und an verschiedenen Quellen zu kaufen, und sich daraus selbst ihr Gemisch bereiten, das auf diese Weise auf einmal ausgestreut werden kann.

Voran schicke ich dieser Auseinandersetzung nur die Bemerkung, dass der einzige Vorteil, welcher für den Landwirt im Kaufen von Mischdünger gelegen sein kann, darin besteht, dass man die Mühe eines doppelten Ausstreuens sich erspart, ein Vorteil, welcher in der Regel schon reichlich dadurch aufgewogen wird, dass die Düngerhändler sich die Mischungen ansehnlich teurer bezahlen lassen als die Summe der konstituierenden Bestandteile. Also ein grosser Nachteil kann aus dem Umstande, dass die Mischungen unterbleiben müssen, niemals entstehen. Für die Händler liegen die Interessen allerdings wesentlich anders; aber für dieselben haben wir hier nicht einzutreten.

Die Ratschläge, welche in der angegebenen Richtung erteilt werden können, sind verhältnismässig sehr einfacher Art und sie ergeben sich meist aus sehr leichtverständlichen chemischen Grundsätzen. Wertvolle chemische Bestandteile können aus Düngergemischen auf zweierlei Art verloren gehen. Entweder sie verfliegen in die Luft wie der Stickstoff des Stallmistes bei schlechter Konservierung, oder sie gehen über in eine schwerlösliche oder wenigstens für die Pflanzenwurzel schwieriger aufnehmbare Modifikation.

Der erste Fall hat ausschliesslich Beziehung auf Ammoniak und Salpetersäure, der zweite Fall ebenso ausschliesslich auf die Phosphorsäure, während Kali weder

nicht anbequemen. — Am zweckmässigsten sind noch die *englischen Gemische*, die den praktischen Verhältnissen Rechnung tragend z. T. wirklich sehr einsichtig zusammengesetzt sind und auch mehr auf verschiedene Bodenverhältnisse Rücksicht nehmen. Aber auch sie trifft der Vorwurf eines übertriebenen Gewinnes seitens der Fabrikanten und der andere, dass sie die selbstständige Erfahrung des Landwirts unterdrücken. Charakteristisch ist jedenfalls, dass überall mit dem Aufblühen der Versuchsstationen diese Rezeptwirtschaft zurückgedrängt worden ist.

*) Näheres hierüber in der holl. Publikation des Verfassers: Een laatste woord over de G. Ville mest: Landw. Courant, 1877, Nr. 42—44.

flüchtig ist, noch leicht in schwerlösliche Modifikationen übergeht. Ammoniak ist die Form des Stickstoffs nicht allein in dem Handelsdünger, dessen Namen ihn als solchen kennzeichnet, in dem schwefelsauren Ammoniak, sondern auch zu einem sehr grossen Bruchteile in den stickstoffhaltigen Guanoarten. Solche Dünger, auch gefaultes Knochen-, Fleisch- und Blutmehl, dürfen niemals mit basischen Stoffen, wie Kalk, Asche und dergl., vermengt werden. Auch Thomasphosphat ist ein basischer Stoff und sollte niemals mit ammoniakalischem Dünger vermischt werden.

Es sind mir in der That Fälle bekannt, in welchen man gegen dieses einfache Prinzip verstossen hat. In Deli wurde und wird viel aufgeschlossener Peruguano oder künstliche Gemische, welche diesem Dünger ähnlich sind*), zur Düngung des Tabaks gebraucht; ausserdem auch viele Holzasche, welche von den Wäldern, die behufs der Urbarmachung des Landes gerodet werden müssen, herrührt. Das eine nach dem andern auf demselben Boden zu gebrauchen ist vielleicht zweckmässig; aber mir ist bekannt, dass vielfach ein Gemenge von beiden Ingredienzien gemacht wird, und dies muss unfehlbar Veranlassung geben zu ansehnlichen Ammoniakverlusten**), während dieser Bestandteil, wenn erst im Boden selber Veranlassung gegeben wird zu dessen Bildung, von demselben in durchaus genügender Weise zurückgehalten wird.

Salpetersäure, als flüchtige Säure, kann natürlich durch „fixe“ Säuren ausgetrieben werden, z. B. durch Phosphorsäure, welche ja als Monocalciumphosphat, nur zu einem Drittel mit Kalk gesättigt, der Hauptbestandteil ist aller Superphosphate. Hieraus ergibt sich die Regel, die verschiedenen Sorten von Salpeter nicht mit Superphosphat zu vermengen. Die Nachteile eines solchen Zusammenmischens sind allerdings nicht in erster Linie grosse Stickstoffverluste, da Salpetersäure bei weitem nicht die Flüchtigkeit besitzt von Ammoniak; aber die frei werdende Salpetersäure hat, gerade insoweit als sie in dem Gemische verbleibt, einen sehr nachteiligen Einfluss auf die Säcke, dieselbe korrodierend und auch selbst zu Verbrennungserscheinungen Veranlassung gebend; und endlich wird infolge der chemischen Umsetzung das Gemisch nach einiger Zeit hart und klumpig***) und kann nicht mehr gleichmässig ausgestreut werden.

Hierin ist auch die Ursache gelegen — da dies Dinge sind, die weniger leicht der Aufmerksamkeit entgehen als Verluste an düngenden Bestandteilen —, warum die Düngerhändler vermeiden, Chilisalpetersuperphosphate in derselben Ausdehnung zu fabrizieren, als dies mit Ammoniaksuperphosphaten der Fall ist, obgleich die

*) So der Dünger der Firma Salomonson, der soviel bekannt aus stickstoffarmem Guano, schwefelsaurem Ammoniak und etwas Kalisalz zusammengemischt ist.

**) Sollte der javanische Aberglaube, nach welchem das Mischen von manchen heterogenen Ingredienzien überhaupt sündhaft ist (man spricht in diesem Falle von Seelenmischen) und wodurch die Fabrikation von Kunstdünger in den holländischen Kolonien auf Schwierigkeiten gestossen ist, vielleicht z. T. der religiöse Ausdruck sein für derartige Erfahrungen, welche unter rationelle Gesichtspunkte zu bringen die Verstandesentwicklung der eingeborenen Bevölkerung zu gering war?

***) Dieses Hart- und Klumpigwerden zeigen auch einige unvermischte, namentlich wasseranziehende Handelsdünger nach kürzerer oder längerer Zeit, weil auch in solchen chemische Umsetzungen mit Hilfe des Wassers statthaben können. Wie bekannt, ist dieser Übelstand zu vermeiden durch Beimischen von etwa 2% Torfmüll.

chemische Form der erstgenannten Gemenge für die Pflanzen sehr allgemein die günstigere ist.

In dritter Linie ist sodann darauf zu achten, dass man Dünger mit löslicher Phosphorsäure, also wieder Superphosphate nicht in Berührung bringt mit basischen Stoffen (also Kalk, Mergel, Asche, Thomasphosphat, und welchen sich in dieser Beziehung die Phosphorite noch anreihen), weil dadurch die lösliche Phosphorsäure zunächst allerdings in die kaum minder aufnehmbare, aber doch viel weniger im Boden sich verteilende, citratlösliche und, wenn die Menge der beigemengten basischen Stoffe gross genug ist, auch in schwerlösliche Phosphorsäure übergeht. Eine unwillkürliche Mischung der Art hat man in den zurückgehenden Superphosphaten vor sich, in welchen eisenhaltige Gangart, wenn sie aus unreinen Phosphoriten bereitet, oder unangefest gebliebenes Tricalciumphosphat, wenn bei der Berechnung der zuzusetzenden Schwefelsäure Fehler gemacht worden sind, die Rolle von basischen, einen Teil der löslichen Phosphorsäure an sich ziehenden Stoffen spielen.

Auch wegen mechanischer Ursachen ist manchmal ein Mischen verschiedenartiger Düngersorten irrationell. Z. B. das schwere feine Thomasphosphat wird nicht leicht mit dem salzartigen Kainit ein ganz gleichmässiges Gemenge geben (obgleich die Düngerhändler, die überhaupt der Darstellung von Mischdüngern aus sehr leicht begreiflichen Gründen sehr hold zu sein pflegen, als vorteilhaft hervorheben, dass dadurch das Ausstreuen des allzu feinen Thomasmehles erleichtert werde); aber für dergleichen Dinge ist es nicht wohl thunlich und auch unnötig, allgemeine Gesichtspunkte aufzustellen. Es ist ohnehin ratsam, das Thomasphosphat niemals zum Fabrizieren von Düngergemischen zu verwenden, auch noch aus weiteren chemischen Gründen, die sich schwieriger auf eine populäre Weise erläutern lassen, und in Bezug auf welche ich hier zum Schlusse nur andeuten will, dass der freie Kalk des Thomasphosphats mit dem Chlormagnesium des Kainits leicht Magnesiumoxychlorid bildet, infolgedessen, da diese Verbindung sehr bald cementartig erhärtet, die Mischung sich erwärmt und Klumpen bildet und zwar dies letztere schneller und stärker thut als der Kainit für sich allein.

Mischungen von Thomasphosphat mit Salpeter sind wieder aus einem anderen Grunde nicht anzuraten, da die Eisenteile des ersteren Veranlassung geben können zu Reduktionserscheinungen der Salpetersäure, wobei Ammoniak entsteht, das seinerseits durch den Kalk des Thomasphosphates ausgetrieben werden kann.

Im kurzen lauten also die sich ergebenden Regeln:

- 1) Ammoniakhaltende Stoffe nicht mit kalkigen oder alkalischen,
- 2) Superphosphat nicht mit den letztgenannten und auch nicht mit Salpeter
- und 3) Thomasphosphat überhaupt nicht zu vermengen.

Man kaufe diese Materialien allein und streue sie nacheinander aus oder vermische sie unmittelbar vor dem Ausstreuen.

Neunte Vorlesung.

Die erdartigen und die indirekt wirkenden Düngemittel.

Für heute bleibt uns zunächst noch übrig, von einer Gruppe von Düngemitteln zu sprechen, welche, wie zum grossen Teil auch die in der vorigen Vorlesung behandelten spezifischen Düngemittel, in ihrem Ursprung nichts mit Organismen zu thun haben, dennoch aber aus einem andern Grunde nicht notwendig einseitig wirkende Dünger zu sein brauchen. Es sind dies die Düngestoffe, welche ihren Ursprung aus derselben Quelle herleiten wie der Boden, auf dem die Pflanzen wachsen. Bei derartigen Düngemitteln ist der Gehalt an Pflanzennährstoffen und die Düngbefähigung einfach herzuleiten aus der Anpassung des Bedürfnisses der Gewächse an die zufällig gegebene Unterlage, wovon wir schon mehrmals gesprochen haben. — Wir haben einige Düngemittel, welche strenggenommen in diese Gruppe gehören, bereits abgehandelt. Die als spezifische Kalidünger noch wenig angewendeten kalireichen Mineralien wie der Feldspat hätten naturgemäss auch einen Platz in dieser Kategorie finden können.

Die hierhergehörigen Düngemittel, soweit sie nicht solche ausgelesene Mineralien sind, lassen sich wieder unter zwei Gesichtspunkte ordnen. Wir können Stoffe unterscheiden, die selbst an sich nichts sind wie Bodenarten; — wir werden gleich sehen, unter welchen Umständen diesen eine düngende Wirkung zukommen kann. Daneben können wir Substanzen unterscheiden, welche, obwohl von erdartiger Natur, sich doch schon durch ihren (denjenigen des zu düngenden Geländes weit übersteigenden) Gehalt an Pflanzennährstoffen als eigentliche Düngemittel kennzeichnen. Häufig werden namentlich die letzteren durch das Wasser herangeführt und deren düngende Wirkung genutzt durch die Methoden der Überschwemmung und Berieselung. Wir brauchen im folgenden übrigens diese beiden häufig ineinander übergehenden Kategorien nicht strenge auseinanderzuhalten.

In jedem Falle aber kann ein *erdartiges Material* natürlich nur als Dünger wirken, wenn seine Zusammensetzung abweichend ist von der des Bodens, auf den es in der Absicht einer Ertragserhöhung gebracht wird. Die Ursache einer solchen abweichenden Zusammensetzung kann aber eine sehr verschiedene sein. Sämtliche einzelnen Momente der Bodenbildung, die Kultur selbst mit den Abänderungen, die sie erzeugt, als solches hinzugezählt, können hinsichtlich dieses Unterschieds wirksam sein. Unter den natürlichen oder durch die Kultur in ihren Eigenschaften abgeänderten Böden findet sich deshalb eine Menge, welche eine sehr einseitige Zusammensetzung hat, deren zwei sich aber einigermassen bezüglich derselben ergänzen würden.

Ein ursprünglicher Boden, aus einem kalkarmen krystallinischen Gestein, z. B. Gneis, hervorgegangen, zeichnet sich häufig noch durch eine weit grössere Kalk-

armut aus als das darunterliegende Gestein, da sich bei der Kultur der Kalkgehalt eines Bodens (freilich nicht lediglich infolge mangelnden Ersatzes) ziemlich rasch zu vermindern pflegt. Nahe dabei liegt vielleicht ein geschichtetes Kalkgestein, dessen Hauptmasse aus dem dort fehlenden Stoffe besteht. Das Hinüberführen von Kalkboden auf den Gneisboden wird unter Umständen ausserordentliche Erfolge haben können und zeigt sich in sehr vielen Fällen als eine rentable Operation. Die Ursache der Wirkung ist hier nicht bloss der wirkliche Mangel an einem unentbehrlichen Nährstoffe; nebenbei kommen auch noch allerlei sekundäre Wirkungen der Kalksalze auf die Vorgänge in der Ackererde in Betracht, von denen wir in einem anderen Zusammenhange noch heute zu sprechen haben werden.

Ein ganz ähnlicher, wenn auch in der Ursache verschiedener Fall ist der, dass in einer Ackererde durch fortgesetzten Anbau ohne genügenden Ersatz die Fruchtbarkeitsbedingungen zerstört, tiefer liegende Schichten desselben Bodens aber von dieser nachteiligen Veränderung unberührt geblieben sind. Bei dieser Lage der Dinge kann die Vermischung der verschiedenartigen Schichten durch Tiefumgraben, seltener einfaches Tieferpflügen, vorgenommen werden, und diese landwirtschaftliche Manipulation (Kleidelven holl.) ist auf tiefgründigen angeschwemmten Lehm Böden, namentlich den Seekleyböden der Nordseeküste, z. B. Groningen und Holstein, in geringerem Grade auch in den Deltas der grossen Ströme, z. B. der Betuwe*), eine sehr gewöhnliche.

Ferner gehört hierhin das Überführen von Weinbergen mit Gesteinsgrus, in dem, wie z. B. in dem Röth von Unterfranken, relativ grosse Mengen von Kali und Phosphorsäure nachzuweisen sind**). Eines der interessantesten Beispiele ist aber entschieden das Verwenden von sogen. Warferde (Terpaarde holl.) namentlich in Friesland zur Düngung von Weideland und anderem landwirtschaftlichen Gelände. Unter Warferde ist zu verstehen die Erde der sogen. Fluchthügel in Gegenden, die, bevor noch die schützenden Deiche errichtet waren, regelmässigen Überschwemmungen ausgesetzt waren, als vorübergehende Wohnplätze für eine Überzahl von Menschen und Haustieren dienen mussten, und die noch auf Kosten des Kleybodens der umliegenden Gelände von Zeit zu Zeit erhöht wurden. So entstanden Bildungen, die in Ostfriesland und Oldenburg Warfen genannt werden, und die am besten als historische Komposthaufen bezeichnet werden können und an deren Abbau und Benutzung die Jetztzeit beschäftigt ist. Die Düngebefähigung und der Handelswert dieser Warferde wird am besten durch einige in Wageningen angestellte Analysen erläutert***):

Gehalt von Stickstoff	0,3 — 1,05 % (hiervon ein grosser Teil leicht zugänglich)
„ „ Phosphorsäure	0,24—1,05 „
„ „ Kali	0,33—0,40—1,1 % (die höchste Zahl nach Analyse Völcker).

Weit häufiger ist es aber noch eine extreme physikalische Beschaffenheit von Bodenarten, welche zu einer Vermischung derselben drängt. Ein heller Boden wird zu wärmebedürftigen Kulturen mit dunklem Gesteinsschutt oder Moorerde überfahren.

*) Die „Insula Batavorum“ Caesars zwischen Rhein und Waal.

**) Vergl. Hilger u. Nies: Mitteilungen etc., Würzburg 1872.

***) Vergl. auch meinen Aufsatz in Landb. Cour., 1878, Nr. 93.

Schwere Thonböden, welche feucht und kalt sind und der Bearbeitung ausserordentliche Schwierigkeiten entgegensetzen, werden mit Kalk, der die Körnelung des Bodens ändert, überstreut. Der lose Moostorf, nach dem Abbau der Hochmoore übrig geblieben, wird mit Sand aus den Gräben innig vermennt (Veenkolonien) oder überdeckt (Moordamnkultur). Auch sind mir Fälle bekannt, dass eine Verbesserung von Sandboden durch Moorerde rentabel gewesen ist*). In allen diesen Fällen ist der Vorteil der Düngung oder Meliorierung, wie man bei bleibenden Verbesserungen gerne sagt, leicht zu begreifen.

Um endlich die Düngbefähigung von in Wasser *aufgeschwemmten oder gelösten Teilchen* zu verstehen, können wir uns ebenso auf früher gemachte Ausführungen berufen. Ich erinnere an die Bodenkunde**), wo wir von der Verschwemmung der Verwitterungsmassen der Gesteine durch das bewegte Wasser gehandelt haben. Auch manche anderen der hier zu erwähnenden Düngungsmethoden lassen sich geradezu auf das dort Gesagte zurückführen.

Wir hatten in den leichtest aufschwemmbarsten thonigen Teilchen die zur Bildung eines fruchtbaren Bodens wichtigsten Elemente erkannt, weil jene gleichsam das chemische Gerüst sind, an das sich durch Anziehung die meisten Pflanzennährstoffe ansetzen. Dazu kommen die Beimischungen von leicht aufschwemmbarsten organischen Überresten, welche den Schlamm der Flüsse und noch mehr des Oceans charakterisieren. Denken wir uns nun selbst über Kleyböden, welche ursprünglich aus solchem Schlamm gebildet waren, aber durch fortgesetzten Anbau einen Teil ihrer Fruchtbarkeit verloren haben, von neuem schlammführendes Wasser treten und die Bedingungen vorhanden zur Ablagerung jenes befruchtenden Schlammes, so haben wir eine Düngungsmethode, wie sie in dieser oder jener Form an vielen Orten gebräuchlich ist und welche häufig alle andere Düngung unnötig macht***).

Man braucht nur den Namen *Ägypten* auszusprechen und seiner vieltausendjährigen Kultur zu gedenken, um den Erfolg einer derartigen Düngungsmethode, die freilich dort weit mehr von der Natur als von Menschenhand besorgt wird, zu verstehen. Die gepriesene und immer wieder neu verjüngte Fruchtbarkeit des Nildeltas rührt bekanntlich von den Schlammablagerungen her, die der Nil auf seinem weiten Überschwemmungsgebiete alljährlich macht. Der Nilschlamm besteht aus jenen leicht aufschwemmbarsten thonigen Teilchen, die wir uns als aus den im oberen Lauf dieses Flusses, vermutlich aus der abessinischen Sumpfwaldregion, mit fort-

*) Niemals dagegen scheint es zweckmässig zu sein, Thonböden zur Verbesserung ihrer physikalischen Eigenschaften mit Sand zu überfahren, weil dazu eine sehr grosse Menge Sand erforderlich wäre und dann die Verdünnung der Pflanzennährstoffe zu schwer ins Gewicht fällt, während mit wenig Kalk dasselbe leicht zu erreichen ist. Auch Thon auf Sand zu bringen ist unzweckmässig, weil ersterer — ist kein Kalk, der dem Thon die Krümelstruktur verleihen muss, anwesend — schnell in den Untergrund gespült wird. Aus diesem Gesichtspunkt erhellt auch z. T. die Bedeutung des Mergels für den Sandboden, da Mergel aus Kalk und Thon besteht. Vergl. weiter unten p. 165.

**) P. 33 u. f.

***)) In der Umgegend von Wageningen haben die „Uiterwaarden“, Weideland den Überschwemmungen des Rheines ausgesetzt, einen um 50% höheren Wert als damit gleichstehendes Gelände innerhalb der Deiche.

gerissenen Verwitterungsmassen und erdartigem Materiale hervorgehend denken müssen. Analysen desselben von Knop^{*)} haben ergeben:

Hygroskopisches Wasser	} Glühverlust	5,70 %	} 14,5 %
Chemisch gebundenes Wasser		7,63 "	
Humus		1,17 "	
Feinerde		85,5 "	

100 Gewichtsteile Feinerde enthalten:

Sulfate		1,30 %	
Karbonate	von Kalk	4,00	
	von Magnesia	0,28	
Silikate	Kieselsäure	57,00	} 94,42 (hiervon in verdünnter HCl lösl. 13,42).
	Sesquioxyde	35,20	
	Monoxyde	2,22	

Diese am meisten eine Übersicht über die Konstitution des Nilschlammes gewährende Analyse wollen wir durch einzelne Angaben aus anderen Analysen ergänzen.

In HCl lösl. **)

Kali	0,49—1,64 %	0,17—0,69 %
Natron	0,55—3,41 "	0,02—1,28 "
Phosphorsäure		0,14—1,07 "

In dem von Peters untersuchten Schlamm waren 0,08 % organische Stoffe und 0,06 % Stickstoff durch kaltes Wasser ausziehbar.

So verschiedenartiges die gewählten Nilschlammanalysen auch anzeigen und wie klar sie demonstrieren, dass der an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten abgelagerte Schlamm eine erheblich abweichende Zusammensetzung zeigen kann, so ist doch ersichtlich, dass man es mit einem Produkte zu thun hat, dessen leichtlöslicher Teil allemal reich an Kali und Phosphorsäure ist. Dazu kommt der konstatierte immerhin beträchtliche Stickstoffgehalt, der, wie Peters' Analyse ergibt, sogar teilweise auf Ammoniak und auf Salpetersäure zurückgeführt, zum grössten Teil aber natürlich als in organischen Substanzen vorhanden gedacht werden muss. Die Anwesenheit von organischen Substanzen beweist, dass wir es im Nilschlamm nicht mit einem rein mineralischen Trümmaterial zu thun haben, sondern dass ihm Reste von Organismen beigemischt sind***). So erklärt sich denn auch der Stickstoffgehalt, welcher in einem rein mineralischen Produkt kein erheblicher hätte sein können, und so ist denn auch in dieser Hinsicht die Fruchtbarkeit der auf solche Weise gebildeten Ablagerungen durchaus begreiflich.

^{*)} Landw. Versuchszt., XV, p. 16. — In späteren Nilschlammanalysen v. Knop (ebenda B. 17, p. 68) hat sich auch ein regelmässiger Gehalt dieser berühmten Erde an Baryt herausgestellt.

^{**) Vergl. Peters: Jahresber. der Agrik.-Chemie, 1860—61, p. 39; Wicke: Jahresber. der Agrik.-Chemie, 1864, p. 44; Hörner: Pharm. Centralbl., 1852, p. 152. Weitere Nilschlammanalysen zusammengestellt bei Mulder: Die Chemie der Ackerkrume, I, p. 171—175. Vergl. auch A. Orth: Geognost. Durchforschung des schlesischen Schwemmlandes etc., 1872, p. 256 u. f. Eine grosse Gleichartigkeit der Zusammensetzung des Nilschlammes verschiedener Fundorte beweisen die Analysen Bopp's: Chem. Centralbl., 1870, p. 628.}

^{***)} Ehrenberg nimmt 5—10 % Infusorienreste im Nilschlamm an.

Dass natürlich auf Ländereien, denen alljährlich solche Schlamm Massen von neuem zugeführt werden, welche in ihrer Zusammensetzung dem Bedürfnis der Pflanzen völlig genügen, andere Düngungsmethoden entbehrlich erscheinen, versteht sich durchaus von selbst. An solchen Orten wird gleichsam immer neuer Boden durch die Kultur in Angriff genommen und der beste Boden liegt immer zu oberst, an der Stelle, wohin der Pflanzenwuchs gebannt ist, daher wird die verminderte Produktionskraft des alten nicht empfunden.

Natürlich ist von der Überschwemmungskultur anderer Gegenden genau dasselbe zu sagen wie von der ägyptischen, wenn die Erfolge auch nicht immer im gleichen Maasse ausgezeichnete sind. Je nach der Gebirgsart, von der die aufgeschwemmten Schlamm Massen stammen, je nach der Vermischung derselben mit organischen stickstoffhaltigen Resten und je nach der Ruhe des Wassers, aus der die Ablagerung erfolgt u. s. w., kann und muss der Effekt ein sehr verschiedener sein und ist eine solche Kulturmethode als eine vorteilhafte oder nachteilige zu bezeichnen. Es giebt in der That auch Schlammarten, die sich nichts weniger als zur Bodenverbesserung oder nur in einzelnen Fällen hierzu eignen, wie aus der praktischen Erfahrung und aus den vielfach vorhandenen Schlammanalysen hervorgeht.

Die Analyse eines Rheinschlammes, gesammelt bei Wageningen, ergab an der dortigen Versuchsstation:

Wasser		13,3	%
Kieselsäure	} lösl. in Salz- säure	0,3	"
Eisenoxyd		3,4	"
Thonerde		1,7	"
Kalk		1,2	" , davon 0,5 % kohlensaurer,
Magnesia		0,7	"
Kali		0,13	"
Schwefelsäure		0,24	"
Phosphorsäure		0,24	"
Stickstoff (leicht verfügbar)		0,03	" .

Frisch gebaggerter Seeschlick aus dem Hafen von Delfzijl enthielt nach der Analyse der gleichen Anstalt:

Wasser bis zur Lufttrockene 56,3 %
und in lufttrockenem Zustand:

Feuchtigkeit		4,8	%
Kohlensaurer Kalk		11,2	"
Sand (durch Schlämmen)		11,8	"
Abgeschlammter Thon und Humus		72,2	"
Stickstoff total		0,36	"
Phosphorsäure	} in Säure löslich	0,20	"
Kali		0,17	"

Im frischen wasserhaltigen Schlamm ist also nur ungefähr auf die Hälfte der hier angegebenen Pflanzennährstoffe zu rechnen.

Dies ist allerdings kein Reichtum an Pflanzennährstoffen wie beim Nilschlamm, aber immerhin genug, um Acker- und Weideland zu verbessern, da ein Boden, allein aus diesem Schlamm bestehend, als ein sehr reicher gelten dürfte.

Vielfach ahmt der intelligente Landwirt, den Ratschlägen der Agrikulturchemiker folgend, diese Schlammdüngungen dem Wasser nach und bringt namentlich den Schlick der Seehäfen und Flussmündungen auf arme Sand- und Moorböden, die natürlich für dergleichen Beimischungen noch dankbarer sind als ein mehr oder weniger erschöpfter Kleyboden. So geschieht es in der holl. Provinz Groningen und namentlich durch die Initiative der Bremer Moorversuchsstation*) in Oldenburg und Ostfriesland.

Eine andere Düngungsform, welche sich ganz enge an diese eigentliche Schlammkultur anschliesst, sind schliesslich die Wässerungsmethoden, wie sie vorzüglich zur Wiesenkultur in Anwendung sind. Es kann freilich keinem Zweifel unterliegen, dass beinahe überall, wo jene Wässerungsmethoden gehandhabt werden, das reine Wasser als solches eine hervorragende Rolle spielt und häufig, zumal in heissen Ländern, ganz allein für den Erfolg in Betracht kommt. Ausserdem kommt auch seine oxydierende Wirkung (durch in Wasser gelösten Sauerstoff) auf den Boden in Betracht, wodurch schädliche (den Wurzeln den Sauerstoff entziehenden) Bestandteile in brauchbare Nährstoffe verwandelt werden — ein Gesichtspunkt, der namentlich von König-Münster in seinen einschlagenden Untersuchungen hervorgehoben worden ist. Auf vielen Wäsewiesen der gemässigten Zone tritt aber neben jener zuerst ins Auge fallenden Wirksamkeit eine andere, düngende ganz handgreiflich hervor und dieselbe muss im wesentlichen auf das Deponieren eines fruchtbaren Schlammes, weniger auf Absorption von gelösten Bestandteilen durch den verarmten Boden, und noch weniger (bei der kurzen Dauer der Berührung des Wassers mit der Pflanze) auf direkte Ernährung**) durch gelöste Bestandteile zurückgeführt werden.

Es hat keinen Zweck, die eben angedeuteten, zum Teil ausserordentlich wichtigen Düngungsmethoden bis in ihre praktischen Einzelheiten zu verfolgen, denn wir würden

*) Vergl. den interessanten Bericht von Fleischer: Hann. Land- u. Forstw. Zeitung, 1885, Nr. 10, 12, 13.

**) Ganz anders freilich gestaltet sich die Sache, wenn man es nicht mit Bewässerungswasser rein mineralischen Ursprungs, sondern mit Abwässern, sei es nun dem Kanalwasser aus Städten, das zur Fortspülung der menschlichen Auswurfstoffe benutzt wurde, oder den mit organischen Substanzen beladenen Abwässern technischer Etablissements zu thun hat. Diese Flüssigkeiten pflegen ungleich reichhaltiger zu sein an absorbierbaren Pflanzennährstoffen als Bach- und Flusswässer, und infolgedessen wird man auch bei ihnen eher ausser der blossen Schlammablagerung ein Festhalten eines Theils der gelösten Substanzen durch den Boden erwarten können, ganz abgesehen von der direkten Aufnahme durch die Pflanze, da wo die Berieselung mit Spüljauche sehr lange fortgesetzt wird. Im anderen Falle dagegen wird häufig der ganze Nutzen auf Anfeuchtung und Schlammablagerungen, z. T. auch, wie gesagt, und wie neuerdings zuerst hervorgehoben wurde, auf die Ausspülung schädlicher Stoffe und Oxydation durch den Sauerstoff des Rieselwassers zu setzen sein, da bei der meistens kurzen Dauer der Rieselung und noch dazu im Spätherbst und ersten Frühjahr von einer ergiebigen Einwirkung der Pflanzenwurzel auf das Rieselwasser kaum die Rede sein kann und andererseits die Erde selber häufig nicht in einem solchen Grade erschöpft ist an Pflanzennährstoffen, dass eine Anreicherung auf dem Wege der Absorption sehr wahrscheinlich wäre.

damit wiederum ein Gebiet betreten, das einer theoretischen Behandlungsweise noch wenig unzugänglich ist und auf dem es erst sehr unvollkommen gelingt, die in Übung befindlichen Manipulationen aus den von uns erkannten Gesetzmässigkeiten der Pflanzenernährung herzuleiten. Auch in dieser Hinsicht muss also auf die Werke über praktische Landwirtschaft verwiesen werden.

In letzter Linie bleiben endlich die sogenannten *indirekt wirkenden Düngemittel* zu betrachten übrig. Man bezeichnet als solche Stoffe, welche nicht fähig sind, die Pflanzen direkt zu ernähren, die aber doch durch ihre Anwesenheit in der Ackererde eine Ertragssteigerung hervorzubringen vermögen.

Es ist nach dieser Definition klar, dass auch die physikalisch wirkenden Stoffe, deren wir schon mehrfach erwähnt haben, strenggenommen als indirekt wirkende zu bezeichnen wären; allein man hat sich gewöhnt, vorzugsweise solche Düngemittel mit diesem Namen zu belegen, welche auf den ersten Anblick den wirklichen Pflanzennährstoffen sehr ähnlich sehen, vielleicht auch vor einer genauen Bekanntschaft mit dem Nährstoffbedarf der Pflanzen für solche angesehen wurden, und für die sich die indirekte Wirksamkeit erst ergab, als man experimentell festgestellt hatte, dass die betreffenden Substanzen überhaupt nicht oder wenigstens nicht in solchen Mengen pflanzliche Nährstoffe seien.

Solche indirekten Wirkungsweisen, von denen wir uns bis jetzt eine deutliche Vorstellung machen können, sind in erster Linie: die Überführung ungelöster Pflanzennährstoffe in Lösung, wodurch sie der Pflanzenwurzel leichter zugänglich werden, und die Veranlassung nützlicher Reaktionen im Boden, z. B. das Neutralisieren von schädlichen Säuren. Es ist wohl kein Zweifel, dass sich deren noch mehrere ergeben werden, wenn unsere Studien über die Reaktionen in der Ackererde und die Vorgänge im Pflanzenleibe einmal vollständigere sind.

Die Überführung ungelöster Pflanzennährstoffe in Lösung, wodurch dieselben der Pflanze zugänglich gemacht werden, lässt sich wieder auf verschiedenartige Wirkungen zurückführen. Die Fähigkeit zu lösen kann dem hinzugebrachten Stoffe als solchem zukommen. Ich erinnere an die Kohlensäure, welche neben ihrer Fähigkeit, der Pflanze direkt als Nährstoff zu dienen, diese andere Wirkung auf Phosphate und Silikate ausübt. Eine ganz ähnliche indirekte Wirksamkeit kommt den salpetersauren Salzen und dem schwefelsauren Ammoniak zu, und von einer Seite her war man sehr geneigt*), hierin gerade die Hauptursache der Düngbefähigung jener Stoffe zu sehen; es kann aber heute keinem Zweifel unterliegen, dass wir bei den zuletzt genannten diese Wirkung nur als etwas Nebensächliches und wenigstens unter gewöhnlichen Umständen die Stickstofflieferung als die Hauptsache anzusehen haben. — Es sind indessen keine Düngemittel im Gebrauch, deren

*) Liebig hatte besonders diese Seite hervorgehoben (vergl. Annal. der Chem. u. Pharm., B. 106, p. 185), weil ihm nach seinen damaligen Anschauungen die direkte Wirksamkeit unwahrscheinlich dünkte. Übrigens vermehrt nach Guilbert (Landw. Centralbl., 1871, II, p. 45) eine Düngung mit Ammoniaksalzen nicht die Phosphorsäure der Drainwasser. — Auf eine Schattenseite der Lösung von Phosphaten durch Salpeter hat P. Wagner in einer interessanten, aber, wie mir scheint, noch nicht ganz spruchreifen Betrachtung hingewiesen. Vergl. dessen: Einige prakt. Düngungsfragen, 1884, p. 39.

Wirksamkeit sich ausschliesslich oder vorzugsweise aus dieser Eigenschaft erklären liesse. Und die wiederholten Versuche, die freie Schwefelsäure als ein solches lösendes Düngemittel zu proklamieren, haben kläglich Schiffbruch gelitten.

Eine viel bedeutendere Rolle spielt bei der indirekten düngenden Wirkung einiger hier zu besprechenden Stoffe eine ganz andere Art der Überführung von Pflanzennährstoffen in Lösung, welche erst durch das eingehende Studium der Absorptionserscheinungen der Ackererde in das rechte Licht gestellt worden ist. Ich muss, um dieselbe deutlich zu machen, an gewisse, bei der Besprechung dieser Erscheinungen gemachten Ausführungen erinnern, aus denen sich eine derartige Wirkung mancher Stoffe klar ergibt. Wir haben dort gesehen*), dass sich die Absorptionserscheinungen im wesentlichen auf einen in den meisten Fällen klargelagerten Chemismus zurückführen lassen, und dass dabei deutliche Massenwirkungen zu Tage treten. Auf diesen letzteren beruht es im wesentlichen, dass es gelingt, ungelöste absorbierte Stoffe durch andere Stoffe, die dann für jene Absorption erleiden, in Freiheit zu setzen und in Lösung zu bringen. Dies Verhalten tritt besonders bei den Basen ganz deutlich zu Tage. Wenn man eine gewöhnliche Ackererde mit gelösten Kalisalzen in Berührung bringt, so erleidet ein Teil des Kalis Absorption; man findet dann statt dieses Kalis z. B. Kalk und Magnesia in ungefähr äquivalenten Verhältnissen und an die Säure des Kalisalzes gebunden in der Bodenlösung vor. Allein wenn man nun umgekehrt zu dieser so veränderten Ackererde wieder ein gelöstes Kalksalz in grösseren Mengen hinzufügt, oder wenn man dasselbe mit der ursprünglichen Erde vornimmt, so tritt genau das Umgekehrte, wenn auch nicht in demselben Grade ein; — Kali und einige andere Basen treten durch chemische Wechselersetzung in die Lösung über, und ein Teil des Kalkes verschwindet aus derselben.

Ganz dieselben Wirkungen dürfen wir natürlich von den meisten Düngestoffen erwarten, welche auf eine gewöhnliche Ackererde, die immer Basen im absorbierten Zustande enthält, gebracht werden. Es werden infolge des Hinzubringens neuer Salze die Zusammensetzungen der Bodenlösungen in ganz anderer Weise geändert, als wenn diese Salze in einem indifferenten festen Medium den Lösungen einverleibt worden wären. Man kann also sagen — immer als selbstverständlich vorausgesetzt, dass die in Lösungen vorhandenen Stoffe der Pflanze zugänglicher sind als die im absorptiv gebundenen Zustande —, dass eine Düngung mit einem Kalksalz zugleich eine Düngung mit Kali, mit Ammoniak u. s. w. ist**). Dieselbe Ursache also, die es bewirkt, dass eine Kalidüngung sich in ihrer Wirkung über eine grosse Periode verteilt, da anfangs Lösungen anderer Salze neben Kalilösungen entstehen und ein Teil des Kalis absorptiv gebunden zurückgehalten wird, ist es auch, die eine Kalksalz-, eine Magnesiasalzdüngung wie eine Kali- oder auch wie eine Ammoniakdüngung wirken lässt. Wir werden sogleich bei einem der vorzüglichsten indirekt wirkenden

*) Bodenkunde, 8. Vorlesung.

**) Von Mulder ist dies mit Recht hervorgehoben worden (vergl. Die Chemie der Ackerkrume, III, p. 17). Auch Eichhorn hat frühzeitig (vergl. Jahresber. für Agrik.-Chem., 1859—60, p. 20) hierauf hingewiesen.

Düngemittel sehen, dass mit Wahrscheinlichkeit ein Teil der Wirkung sich auf diesen Gesichtspunkt zurückführen lässt.

Allein bei dem geschilderten Verhalten ist noch ganz besonders auf einen Umstand aufmerksam zu machen, der die Sachlage wesentlich modifiziert. Man muss nämlich berücksichtigen, dass die in Lösung übergeführten Stoffe nun in andere Bodenschichten sich verbreiten können, und dass je nach der eigentümlichen Bewurzelung der Gewächse dadurch eine für die Zweckdienlichkeit der Ernährung ganz entscheidende Veränderung bewirkt werden kann. Nach den gewöhnlichen Methoden der Düngung werden die Nährstoffe ganz einseitig den obersten Bodenschichten und selbst beim Unterpflügen nur beschränkten Bodenregionen einverleibt und bleiben dort infolge des Absorptionsvermögens und trotz der Auswaschung durch Regen, wie vergleichende Analysen der verschiedenen Schichten einer angebauten Ackererde beweisen, zumal in den schwereren Bodenarten längere Zeit ziemlich vollständig lokalisiert. Werden nun aber Stoffe hinzugebracht, die jene anderen wertvolleren Düngbestandteile aus ihrem absorbierten Zustande durch chemische Wechselwirkung verdrängen, so wird dies für diese letzteren genau so wirken, wie ein sonst die Absorption schwächendes Agens, z. B. eine grössere Wassermenge. In die Bodenlösung wird wieder eine gewisse Menge von jenen Düngbestandteilen übergeführt, und da die Lösungen im Boden zirkulieren, so werden auf diese Weise nun auch die unteren und benachbarten Bodenschichten etwas von der verabreichten Düngung mitbekommen, was natürlich für die Ernährung mancher, zumal tiefwurzelnder Gewächse von entscheidendem Erfolge sein kann. Man kann sich mit einem Worte so ausdrücken, dass die Stoffe, welchen jene beschriebene Wirkung zukommt, für die substituierten Nährstoffe *dislozierend* wirken, und man wird einsehen, dass eine derartige Wirkung, je nach dem Düngungsstand eines Feldes, nach der Kultur, die man gerade vornimmt, von Nutzen sein kann.

Weiter ist eine Behandlung indirekter Düngewirkungen, ohne auf ganz spezielle Verhältnisse einzugehen, nicht wohl möglich.

Zunächst ist, um vom Allgemeinen zum Speziellen überzugehen, der *Gips* ein Düngemittel, dessen Befähigung, Mehrerträge*) zu bewirken, teilweise auf solch indirekte Weise und dazu vielleicht aus mehreren Gesichtspunkten erklärt werden muss. Obgleich der Gips, dessen Anwendung in der Landwirtschaft eine sehr alte**) ist, im wesentlichen aus zwei Pflanzennährstoffen besteht, aus Schwefelsäure und Kalkerde, und sonach die Erklärung von dessen Düngbefähigung aus seinem Gehalt an diesen Pflanzennährstoffen am allernatürlichsten erscheint, so geht doch das Urteil fast aller Sachverständigen dahin, dass hierin wenigstens nicht allein die Ursache der beobachteten Wirkung liegen könne. Man scheint zu einem solchen Urteil des-

*) Diese Mehrerträge sind in den meisten Fällen wirklich solche an organischer Substanz und lassen sich nicht bloss, wie aus einzelnen Düngungsversuchen hervorzugehen scheint, auf den grösseren Wassergehalt der nach Gipsdüngung erzielten Pflanzenmasse zurückführen.

**) Bereits in der Römerzeit und selbst von den Griechen soll der Gips zum Düngen Verwendung gefunden haben (vergl. Hulwa: Landw. Centralbl., 1863, p. 420). Dasselbst auch sonst Angaben über die Geschichte der Gipsdüngung. Eine Zeit lang (im vorigen Jahrhundert) hat man bekanntlich den Gips als Universaldüngemittel empfohlen und ihn statt des Stallmistes zu verwenden vorgeschlagen.

halb berechtigt, weil man den Gips in Böden eine Wirkung vollbringen sieht, welche durchaus nicht arm an den betreffenden Pflanzennährstoffen sind*).

So einig man aber im allgemeinen**) darüber mit sich war, dass der Gips nicht lediglich durch seinen Gehalt an Pflanzennährstoffen wirksam sei, so verschieden zeigten sich die Meinungen in Bezug auf die Art und Weise der indirekten Wirksamkeit***).

Von hervorragender Bedeutung ist eine Theorie, deren Umrisse schon in den bereits gegebenen allgemeineren Ausführungen enthalten sind und der wir hier als der meist wahrscheinlichen das Wort reden wollen. Der *Gips* ist ein lösliches Kalksalz und vermag als solches auf andere Basen, welche sich im absorbierten Zustande in der Ackererde befinden, in der Weise einzuwirken, dass diese an seine

*) Es liegt allerdings nahe, auch hier wieder die bei der Mangelhaftigkeit der Bodenanalyse so natürliche Voraussetzung zu machen, der wir früher namentlich in Bezug auf Phosphorsäure und Stickstoff mehrfach begegnet sind, die Voraussetzung, dass der schon vorhandene Kalk und die vorhandene Schwefelsäure in nicht verfügbarem Zustande überall da gewesen sein könnten, wo der Gips eine Düngewirkung hervorgebracht habe, und deshalb haben wir die Frage auch noch nicht als eine abgeschlossene anzusehen. Doch ist hier namentlich zu berücksichtigen, dass nach Analysen von Dehérain u. a. (vergl. dessen *Chimie agricole*, 1873, p. 439) gegipste Pflanzen keinen ihrem Kalkgehalt entsprechenden Schwefelsäuregehalt zeigen, eine Erscheinung, die gleichfalls nach Versuchen des genannten französischen Forschers im Zusammenhang steht mit Reduktionen der Sulfate zu Sulfiden und Entweichen des Schwefelwasserstoffs. Es ist übrigens nicht einmal nötig, diese Reduktionserscheinung für die Erklärung der erwähnten Thatsache heranzuziehen.

**) Vergl. übrigens die Ansichten Chaptal's und einiger anderen: *Landw. Centralbl.*, 1863, p. 426 u. f.

***) Liebig hatte seiner Zeit eine Theorie der düngenden Wirkung des Gipses aufgestellt, die sich früher grosser Anerkennung erfreute. Die Liebig'sche Theorie stützt sich auf die Eigenschaft des Gipses, welche wir bei Besprechung desselben als Desinfektions- und Konservierungsmittel für die verschiedenen Mistarten kennen gelernt haben, auf dessen Wechselersetzung mit kohlensaurem Ammoniak, wodurch dieses zu schwefelsaurem Ammoniak wird und seine Flüchtigkeit einbüsst. In der gegipsten Ackererde sollte nun diese Reaktion von besonderer Wichtigkeit werden, weil auf diese Weise der gebundene atmosphärische Stickstoff in erhöhtem Grade zur Pflanzenproduktion herangezogen werden könnte. Das kohlen-saure Ammoniak, welches mit dem Regenwasser auf die Ackererde gelangt, sollte sogleich seiner Flüchtigkeit dadurch beraubt werden, dass es sich mit Gips zu schwefelsaurem Ammoniak und zu kohlen-saurem Kalke umsetzt, während im andern Falle ein kleiner Anteil wieder durch Abdunstung verloren gegangen sein würde. Die betreffende Anschauung wurde zuerst von Spazier (*J. f. pr. Chemie*, 1831, II, p. 89) ausgesprochen; und dann hat Liebig die betreffende Theorie (*Die Chemie u. s. w.*, 1843, p. 71) der Düngewirkung des Gipses entwickelt. — Ob indessen das sehr verdünnte und nur zu seinem kleineren Teile in Gestalt von kohlen-saurem Salze vorhandene Ammoniak des Regenwassers in einer Ackererde, welche eine Menge von Substanzen enthält, die sich mit demselben zu verbinden und es festzuhalten geneigt sind, doch wieder durch Verdunstung verloren gehen kann, muss wahrscheinlich verneint werden. Vergl. hierüber Schultze: *Chemie f. Landwirte*, 1846, I, p. 261, und die Boussingault'schen Entgegnungen. Namentlich sind die Analysen des letzteren über die von der Ackererde eingeschlossene Luft der Liebig'schen Anschauung sehr ungünstig; vergl. *Agron.* II, 1861, p. 92 u. 94. Auch ist merkwürdig, dass gerade der mit Hilfe der Bakteriensymbiose den Luftstickstoff assimilierende und daher für Stickstoffdüngung so wenig dankbare Klee in diesem Falle durch den Stickstoff gedeihen soll.

Säure gebunden in Lösung gehen, während ein Teil des Kalkes dafür in jene ungelöste Form übergeht, aus der er die Basen verdrängt hat*). Der Erfolg dieses Vorgangs ist ein doppelter. Die Bodenlösung wird einmal reicher an einem in der Ackererde nur in sehr zurücktretenden Mengen vorhandenen Nährstoffe, der von den Pflanzen aber in grossen Mengen aufgenommen wird, — an Kali. Die Gipsdüngung wirkt also, wenigstens in jenem Boden, welcher reich ist an absorbiertem Kali, wie eine Kalidüngung, ein Umstand, der für eine stark kalibedürftige Pflanze natürlich von Wichtigkeit ist.

Ferner verbreitet sich die Bodenlösung und bespült neue Erdteile mit den in ihr nun enthaltenen Stoffen, während diese sonst lokalisiert geblieben wären; sie führt tiefwurzelnden Gewächsen einen Teil der den oberen Bodenschichten einverleibten Düngestoffe, unter anderem auch hier wieder Kali zu, in der Weise, wie wir es vorhin beschrieben haben**).

Folgende praktische Erfahrungen scheinen mit der von uns behandelten Theorie der düngenden Wirkung des Gipses in völligem Einklang zu stehen.

Der Gips zeigt nur eine Wirkung auf Feldern, die sonst in gutem Düngungsstande sich befinden, gutem Lehmboden, und keine erhebliche auf abgebauten Feldern, vermutlich weil Pflanzennährstoffe in jener leicht-

*) Auf diese Möglichkeit deutlich aufmerksam gemacht zu haben, ist Peters' Verdienst; vergl. Jahresber. f. Agrik.-Chemie, 1865, p. 267.

**) Diese Anschauung (vergl. auch die Versuche von Déhérain: *Compt. rend.*, T. 56, p. 965, und *Chimie agricole*, 1873, p. 434, u. v. Heiden: *Journ. f. Landw.*, 1870; Jahresber., p. 70 u. f.) wird besonders für den tiefwurzelnden Klee durch Thatfachen unterstützt, weil man denselben in sehr vielen Fällen nach Gipsdüngung kalireicher gefunden, und weil sich Klee auch sonst dankbar für Kalidüngungen gezeigt hat (vergl. namentlich die von Boussingault gelieferten Zahlen, Die Landwirtschaft u. s. w., 2. Aufl., B. II, p. 122, u. Henneberg: *Journ. f. Landw.*, 1872, p. 76). Indessen zeigen die Versuche von Kreuzhage (ebenda 1866, p. 413), dass eine Düngung mit Kalisalzen in einem Falle doch nicht das nämliche zu leisten vermochte wie eine Gipsdüngung, im Gegenteil gar keine Wirkung zeigte. Es ist ferner darauf hinzudeuten, dass der Gips gleichzeitig mehrere Basen, also auch die Magnesia (vergl. in dieser Beziehung die von Liebig erlangten Resultate, *Die Chemie i. i. A.*, 1862, II, p. 359, und die eben citierte Heiden'sche Arbeit) und das Ammoniak in Lösung überführt; dass sich ferner seine lösende Wirkung auch auf die Phosphorsäure erstreckt, wie aus den Boussingault'schen Resultaten, aus gewissen Mitteilungen von Liebig (vergl. *Die Chemie in ihrer Anwendung u. s. w.*, 1862, II, p. 356) und ebenso aus den Versuchen von Heinrich (*Landw. Jahrb.*, 1872, p. 599) gefolgert werden kann. — Eine weitere Theorie der Düngewirkung des Gipses sowie des Kochsalzes hat Heiden in seinem Lehrbuch der Düngerlehre angedeutet. Derselbe benutzt hierzu die Thatfache, dass die Transpiration der Blätter der Luftpflanzen durch Erhöhung der Bodenlösungskonzentrationen herabgedrückt werden könne, und dass besonders der Gips in dieser Richtung erhebliches zu leisten vermöge, und denkt sich nun, dass infolge davon Gewächse auf einem Ackerfelde von bestimmtem Wassergehalt länger auszuhalten vermöchten. Die Unwirksamkeit des Gipses gerade auf Trockenwiesen spricht einstweilen nicht für die Richtigkeit dieser Erklärung. Auch ist noch nicht festgestellt, und nach den Burgerstein'schen Versuchen sogar unwahrscheinlich, dass er in allen Konzentrationsverhältnissen transpirationsvermindernd wirkt. — Endlich ist eine künstliche Transpirationsverminderung nach früheren Ausführungen (I. Teil, Vorl. 21, p. 348) wohl nicht ausführbar ohne Schädigung der Produktion an organischer Substanz.

gebundenen Form vorhanden sein müssen, damit solche durch den Gips auf die erläuterte Weise in Lösung gebracht werden können.

Der Gips wirkt vorzugsweise auf tiefwurzelnde Gewächse, vermutlich da infolge jener Wirkung die Nährstoffe, welche in den obersten Bodenschichten allzu fest lokalisiert vorhanden waren, löslich gemacht und in tiefere Bodenschichten geführt werden.

Die übrigen praktischen Regeln, welche in Bezug auf die Verwendung des Gipses gegeben werden, können dagegen nicht oder nur mühsam auf jene theoretischen Gesichtspunkte zurückgeführt werden. Dahin gehören die so ausschliessliche Verwendung dieses Düngemittels für einzelne Kulturen, vor allem für den Klee, Luzerne, Esparsette, welche sich doch nur teilweise durch die tiefere Bewurzelung dieser Pflanzen erklären lässt*), die Unwirksamkeit auf trockenem Grasland etc.

Was endlich die Bezugsquelle des Gipses angeht, so findet sich derselbe bekanntlich an sehr vielen Orten als Gebirgsart. Man hat nichts zu thun, als denselben aus seinen reineren Lagen zu gewinnen und zu mahlen. Brennen des Gipses ist für seine Verwendung als Düngemittel durchaus unnötig, zuweilen selbst nachteilig**), obwohl dies zur Erleichterung der Zerkleinerung an vielen Orten zu geschehen pflegt. Ausserdem ist der Gips Abfall bei manchen Fabrikationen; so ergiebt er sich auf den Salinen als Nebenprodukt, da die kochsalzhaltigen Quellen, ihrem Ursprung gemäss, reich an jenem Stoffe zu sein pflegen, auch bei der Reinigung des Salzes durch Umkrystallisieren. Ganz neu erzeugt wird er bei der Fabrikation der Stearinsäure in den Stearinfabriken und ebenso in einigen anderen Etablissements (Kartoffelzuckerfabriken etc.) und wird als sonst nicht zu verwertender Abfall aus denselben namentlich zu landwirtschaftlichen Zwecken abgegeben. Man hat nur darauf zu achten, dass er seinen Gehalt hat, dass er trocken und feinpulverig ist.

Der Gips wird zu Klee am besten anfangs Mai bei warmfeuchter Witterung als Kopfdüngung in der Menge von ungefähr 500 kg per Hektar angewendet.

Eine ganz spezifische Wirkung zeigt endlich der Gips in den sodareichen Thonböden regenarmer Landstriche, wobei das kohlensaure Natron in das Sulfat verwandelt und dadurch zugleich eine wohlthätige Strukturveränderung der Böden bewirkt wird.

An den Gips reihen sich unter den indirekten Düngemitteln zunächst die übrigen kalkreichen Substanzen an, der *Ätzkalk* und *Stoffe, welche wesentlich aus kohlensaurem Kalke bestehen*, wie namentlich der *Mergel*. Die sehr ähnliche Wirkungsweise des kaustischen und des kohlensauren Kalkes erlaubt es, beide einer

*) Hierbei mag übrigens auch der Gips — und dieser Gedanke drängt sich nun gerade in der neuesten Zeit in den Vordergrund — als direktes Düngemittel in Betracht kommen und zwar als schwefelsäurehaltige Substanz. Man hat berechnet, dass durch eine durchschnittliche Kleernte dem Boden das 3—5fache an Schwefel entzogen wird als durch eine Getreidernte. In dieser Hinsicht vergleiche man namentlich die Ausführungen Fr. Schulze's über den Gips in dessen: *Chemie für Landwirte*, 1846. Eine ganz ähnliche Wirkung wie der Gips übt auch häufig die schwefelsaure Magnesia (Bittersalz) aus, wie z. B. die Versuche von Pinkus lehren (vergl. Versuche u. s. w. der landw. Versuchsst. zu Insterburg 1861), was natürlich auf dieselben Gesichtspunkte zurückzuführen wäre. Die praktische Bedeutung dieser Wirksamkeit ist aber aus naheliegenden Ursachen eine weit geringere.

**) Auf sehr feuchtem Boden, weil dann beim Löschen wieder gröbere Krystalle entstehen.

gemeinschaftlichen Behandlung zu unterziehen. Ja man kann aussprechen, dass der im gebrannten Zustande aufgebraachte Kalk doch wesentlich als kohlensaurer Kalk in Wirksamkeit kommt, da namentlich in der kohlensäurereichen Ackererde sehr rasch ein Zusammentritt beider Substanzen erfolgen muss. Der Vorteil beim Aufbringen von Ätzkalk, bez. gelöschtem Kalke (siehe hierüber später) beruht hiernach vorzugsweise darauf, dass, analog der Superiorität der aufgeschlossenen Phosphorsäure vor der unlöslichen, in dieser Form eine durch mechanische Mittel niemals zu erzielende feinere Verteilung im Boden ermöglicht wird. Schon hieraus wird uns auch die praktische Regel verständlich, den Ätzkalk womöglich unterzupflügen, bevor er an der Luft unter Übergang in kohlensaurer Kalk unlöslich geworden ist. Beide, der Ätzkalk und der ungebrannte Kalk, dieser namentlich in der Form von Mergel, waren wie der Gips von den Alten*) gekannt, woraus die Allgemeinheit der Wirksamkeit dieser Stoffe, welche es allein ermöglicht, ohne naturwissenschaftliche Kenntnis von der Pflanzenernährung ein Düngemittel aufzufinden, zur Genüge hervorleuchtet.

Bezüglich der Wirkungsweise des nicht an fixe Säuren gebundenen Kalkes ist etwas Ähnliches zu sagen wie über die Wirkungsweise des Gipses, nämlich insofern, als beide deutlich ihre *indirekte* Wirksamkeit dokumentieren. Der Kalk wirkt häufig zumal auf schweren Bodenarten ertragserhöhend, in denen offenbar kein eigentlicher Mangel an diesem Nährstoffe herrscht**) und wo eine Erhöhung des Kalkgehaltes in den gewachsenen Pflanzen infolge einer solchen Düngung kaum nachgewiesen werden kann. Es liegt also derselbe Grund vor wie beim Gipse, wenn man auch in diesem Falle nach der Ursache einer indirekten Wirksamkeit späht.

In der That, wir brauchen nicht lange zu suchen, um zu erkennen, dass dem Kalke eigentümliche, in vielen Fällen kaum zu entbehrende Wirkungen im Boden zukommen, welche von einer direkt ernährenden Fähigkeit ganz auseinandergehalten werden müssen. Wir haben früher gesehen, dass die humosen Substanzen in der Ackererde unter anderem deshalb wirken, weil ihre Zersetzungsprodukte, Kohlensäure und salpetersaure Verbindungen, wichtige Pflanzennährstoffe sind und gleichzeitig Lösung von anderen Nährstoffen in der Ackererde veranlassen. Vom Ätzkalke ist es nun mit Sicherheit erwiesen, dass er in vielen Fällen die Zersetzung jener humosen Substanzen beschleunigt. Man hat Versuche angestellt, wo humose Erde vergleichsweise mit Ätzkalk gemischt und ohne denselben einem abgesperrten Volum von atmosphärischer Luft ausgesetzt wurde***). Der Sauerstoffkonsum und die Kohlensäureproduktion war in den Fällen um das Vielfache höher, wo Kalk beigemischt war, so dass also der eben hervorgehobene Einfluss ausser allem Zweifel steht.

*) Plinius spricht von beiden Düngemitteln eingehend (vergl. Plinius, L. 17, p. 4; Beheim-Schwarzbach: Beitrag zur Kenntn. d. Ackerb. d. Römer, p. 89).

**) Wenn dieser herrscht, natürlich in desto höherem Grade, z. B. auf vielen Granit- und Gneisböden (vergl. Risler: Geologie agricole, I, p. 37); und ist natürlich bei Anbau von kalkreichen Pflanzen wie Leguminosen ein erhöhter Grund vorhanden, mit dieser Düngungsweise vorzugehen. Vergl. hierüber Salfeld: De ouginingg etc., 1890, p. 126.

***) Fr. Schulze: Chemie f. Landwirte, I, p. 677.

Ebenso beweisen schon die ausgedehnten Boussingault'schen Versuche, dass unter dem Einfluss von Kalk die Überführung des unverfügbaren Stickstoffs der Humusstoffe in Ammoniaksalze weit grössere Dimensionen annimmt, während eine Begünstigung der Salpeterbildung durch eine Kalkdüngung mehrfach in andern Versuchen aufgefunden werden konnte*).

Auf diese eigentümliche Wirksamkeit des Kalkes, welche sich als eine humusverzehrende charakterisieren liesse und ganz allein dieser Base in der praktischen Landwirtschaft zuzukommen scheint, weil andere Basen entweder nicht in so grossen Mengen wohlfeil zu beschaffen sind, oder in dieser Form allzu energische, das Pflanzenwachstum schädigende Eigenschaften an sich tragen, lässt sich z. T. seine Bedeutung als Düngemittel zurückführen. Bei der in Rede stehenden Wirkung tritt manchmal die beschleunigte Erzeugung leicht verfügbarer Nährstoffe aus den humosen Substanzen, manchmal deren Verminderung an und für sich in den Vordergrund. Die Vorteile eines gewissen mässigen Humusgehaltes einer Ackererde sind freilich bekannt genug und auch durch uns mehrfach besprochen. Dagegen treten Nachteile eines solchen Gehaltes hervor, wenn der Humusgehalt einen gewissen Prozentsatz übersteigt; dann neigt ein solcher Boden der Feinheit seiner Hohlräume wegen und auch wegen der Quellbarkeit seiner Substanz nach früher besprochenen Grundsätzen zur Nässe. Alle kapillaren Zwischenräume desselben sind dann beinahe un- ausgesetzt mit Wasser erfüllt, die Luft ist fast ganz und gar von der Teilnahme an den Reaktionen in der Ackererde ausgeschlossen, und alle Bedingungen sind vorhanden zu demjenigen Verlauf des Verwesungsprozesses, der mit der Bildung von viel sauer reagierenden Humusstoffen abschliesst und dessen Resultat auch der Praktiker mit dem Namen der Bildung von „saurem“ Humus belegt. Es ist dies derselbe Prozess, dessen endgültiges Produkt die Torfmoore mit ihrer spärlichen und zu Kulturzwecken ganz ungeeigneten Vegetation sind.

Es ist bei der Schilderung dieser ungünstigen Bodenbeschaffenheit ganz besonders darauf zu achten, dass Zunahme der Humussubstanzen und ein grosser Wassergehalt des Bodens sich gegenseitig begünstigen, dass wir es hier mit einem Verhalten zweier Erscheinungen, von denen jede wechselweise die Ursache der anderen ist, zu thun haben, welche sich demgemäss gegenseitig bis ins Unbegrenzte zu steigern suchen,

*) Vergl. W. Wolf, Landw. Jahrb., II, 411. In ammoniakhaltiger Ackererde bildet sich nach Befeuchtung mit Kalkwasser in erhöhtem Grade Salpetersäure. Dass z. B. durch Boussingault auch in entgegengesetzter Richtung Erfahrungen gemacht worden sind, ist gegenwärtig leicht verständlich, seit man weiss, dass der Nitrifikationsprozess ausser von dem Zustande der Erde von der Anwesenheit von Spaltpilzen abhängig ist, die natürlich auch einmal fehlen oder durch einen Eingriff in ihren Lebensäusserungen geschädigt werden können. In betreff der Wirksamkeit einer Beimischung von Kalk zu einer humosen Ackererde auf die Verwesung der organischen Bestandteile derselben ist weiter an einige früher bei Behandlung der Humusstoffe gemachte Mitteilungen zu erinnern, wo gesagt wurde, dass die humus-sauren Salze (in feuchtem Zustande) weit leichter an der Luft einer Oxydation zugänglich sind als die Humussubstanzen für sich. Man darf sich nicht dadurch irre machen lassen, dass der Kalk auf den frischen Mist eher konservierend wirkt, unter anderem auch, weil ja der Kalk im letzteren Falle in viel grösserer Menge zugegen ist als nach einer blossen Überdüngung des Ackerlandes mit demselben. Vergl. in dieser Beziehung auch die neuen Untersuchungen von Burri, Herfeld u. Stutzer: Journ. f. Landw., 1894, p. 329.

und für deren Mässigung in der Natur kein regulierendes Moment gegeben ist. Neigt ein Boden aus irgend einer Ursache zu grosser Nässe, ist also z. B. der Spiegel des Horizontalwassers in allzu grosser Höhe, oder wird lokal das Bodenwasser durch eine undurchlässige Schicht am Abfluss verhindert, so geht die Verwesung der in und auf ihm sich ablagernden organischen Substanz wegen Verhinderung des Luftzutritts mit sehr grosser Langsamkeit und in einer Richtung von statten, dass das Entstehen von sogenanntem saurem Humus die Folge ist. Infolge der unmässigen Anhäufung aber von organischen halbverwesten Stoffen vermehren sich fortwährend diejenigen Eigenschaften der Ackererde (Wasserkapazität und Kälte), welche eine noch grössere Hinneigung zum Wasserreichtum zur Folge haben u. s. w.

Um diesen Prozess, der sich an sehr vielen Orten der gemässigten Klimate ohne wohlthätige Eingriffe der Menschenhand ungestört vollziehen würde, zu verhindern oder einzuschränken, ist das Aufbringen von Kalk ein wertvolles Mittel. Allein es ist nicht das einzige, denn der Kalk kann nicht das mindeste zur Beschleunigung der Verwesung beitragen, solange die Ackererde dem Zutritt der Luft den Eingang versagt. Ja ein Boden, der aus nichts anderem besteht als aus einem lockeren Kalksande, ist recht wohl einer schädlichen Humusbildung, einer Entstehung von Torfmooren zugänglich, wenn auch keiner Entstehung von eigentlichem sauer reagierenden Humus, wie dergleichen Bildungen in Süddeutschland auf dem sogen. Alm- oder Elmsande, der fast ausschliesslich aus Kalk besteht, aufs deutlichste lehren*). Wenn man aber den Boden durch Tieferlegen des Horizontalwassers oder Durchstechen der undurchlässigen Unterlage dem Eintritt der Luft zugänglich macht, ihn entwässert, oder, wie man sich gewöhnlich ausdrückt, den Boden trocken legt und dann Kalk aufführt, so ist die Maassregel von Erfolg begleitet. Der Kalk beschleunigt alsdann die Zersetzung der massenhaft angesammelten organischen Substanz, während ohne denselben der Boden eine längere Zeit die „saure“ Beschaffenheit beibehalten haben würde. Der Kalk führt also jenen zu einer geeigneteren chemischen und physikalischen Beschaffenheit zurück, eröffnet ausserdem infolge derselben Wirksamkeit der Vegetation reichliche bis dahin aufgesparte Quellen an zugänglicher Pflanzennahrung und wirkt in jeder Beziehung nützlich.

Eine dieser Darlegung entsprechende Melioration empfiehlt sich vor allem auf sumpfigem Terrain, nicht abgegrabenen Hochmooren und Grünlandsmooren (Laagveen holl.), während nach dem Abbau der Hochmoore der lose Moostorf (Bonkaarde holl.) zurückzubleiben pflegt, welcher nicht so sauer ist und besser durch Aufbringen von massigen Komposten mit dem in den Gräben anwesenden Sande zu einem guten Boden verbunden wird, als dass in diesem Falle von der Kalkdüngung allzu grosse Vorteile zu erwarten wären. In der Menge von aufzubringendem kaustischem Kalk muss man in diesen Fällen nicht über 2000 kg gehen (Fleischer).

In betreff des Chemismus, welcher durch die Einverleibung des Kalkes in einem Boden von saurer Beschaffenheit ausgeübt wird, lässt sich noch einiges weitere angeben. Es ist nicht bloss die Beschleunigung der Verwesung der Humusstoffe, welche

*) Im badischen Seekreise. Vergl. auch E. Wolff: Württemberg. Wochenbl., 1865, p. 217, und Jahresber. der Agrik.-Chem., 1865, p. 242.

der Kalk in einem solchen Boden bewirkt, sondern man schreibt mit Recht dieser *Base* auch eine ganz unmittelbare wohlthätige Wirkung zu. Die „sauren Humusstoffe“ sind, wie schon früher gesagt, nicht bloss ein willkürlich gewählter Name; der Ausdruck ist vielmehr auch in chemischer Beziehung einigermaassen bezeichnend, denn die so benannten Stoffe sind von ziemlich saurer Beschaffenheit und ohne Zweifel auch durch dieselbe den Kulturgewächsen schädlich. Diese freien Humus-säuren werden natürlich sehr rasch durch den Ätzkalk abgestumpft, etwas langsamer auch durch den kohlensauren Kalk. Neben der sauren Beschaffenheit infolge von Humusbildung ist noch die gleiche Bodenreaktion infolge des Gehalts von sauren schwefelsauren Salzen oder der Schwefelsäure selber beobachtet worden. Dies ist eine den Kulturpflanzen noch weniger zusagende Beschaffenheit, und sie kann in gleicher Weise durch Aufbringen von Kalk korrigiert werden.

Ausserdem enthält aber fast jeder saure humose Boden infolge des Sauerstoffabschlusses und der Reduktionsprozesse, welche sich in ihm vollziehen, sein Eisen z. T. in Form von Eisenoxydul*), — einer Substanz, welche in kleineren Mengen ertragen wird, in grösseren aber dem Wachstum vieler Pflanzen schädlich ist**). Diese Eisenoxydulsalze werden nun durch den Kalk zerlegt; es entsteht z. B. aus dem Ferrosulphat Gips und Eisenoxydulhydrat, das sich an der Luft ausserordentlich leicht zu Eisenoxydhydrat oxydiert, in welcher Form das Eisen eher ein nützlicher Bestandteil einer Ackererde ist. Also auch hier wieder die Regel, dass alkalische Stoffe sich leichter oxydieren als saure, worauf ein so grosser Teil der Wirkung des Kalks zurückzuführen ist.

Neben der eben erläuterten Wirkung des Kalks auf versumpften sauren Ländereien ist dann seine Wirksamkeit auf steifen Thonböden hervorzuheben***).

Die Thonteilchen haben um so mehr Gelegenheit, sich fest aneinanderzuschliessen und einen Boden von allerschlechtesten physikalischen Eigenschaften zu erzeugen, je weniger sie von fremden Dingen auseinandergehalten werden. Am besten wirken in dieser Richtung verwesende organische Stoffe, viel schlechter der Sand, vorübergehend günstig auch eine Kochsalzlösung, vorübergehend, weil nach der Auswaschung derselben die eine Wirkung in die andere umschlägt und der Boden sich plötzlich schliesst. Ähnlich wirkt auch der Kalk, aber da er nicht so rasch ausgewaschen wird, ist die Verbesserung eine bleibende, und es sind gerade steife kalkarme Thonböden, für welche sich zeitweilige Herbsdüngungen mit Kalk empfehlen†). Dies ist auch der Grund, warum auf Thonböden so grosse Mengen von Kalk verwendet werden müssen, während Sandböden für reine Kalkdüngungen viel undankbarer und auf ihnen thonhaltige Kalksorten (Mergel) angezeigt sind.

*) Dass diese Wirkung wirklich von humosen Stoffen ausgeübt wird, ist von Detmer (Landw. Versuchsst., XIV, p. 292) experimentell nachgewiesen worden.

**) Vergl. Journ. f. Landw., 1840, p. 19.

***). Eine Andeutung hierüber ist schon in der 10. Vorlesung der Bodenkunde geschehen.

†) Über die Wirksamkeit des Kalks als Lockerungsmittel schwerer Bodenarten vergl. auch F. Schulze: Jahresber. f. Agrik.-Chem., 1866, p. 48, u. namentlich Schlösing: Compt. rend., 1870, Juni 20, und p. 149 der ersten Abteilung dieses Teils. Vergl. auch Sachsse und Becker: Landw. Versuchsst., 43, p. 15, und namentlich Puchner: Forsch. a. d. Geb. d. Agrik.-Phys., 89, p. 195.

Hiermit sind die hervorragendsten Wirkungen von Kalk auf den Boden erledigt. Nebensächliche ergeben sich allerdings noch eine ganze Reihe, über deren Besprechung wir aber hier hinweggehen, da die behandelten Gesichtspunkte für eine volle Würdigung dieser Düngungsweise genügen*).

Wenn man für die Melioration von versumpftem Gelände sowohl als von Thonboden gewöhnlich gebrannten Kalk wählt, so wird, wie schon angedeutet, im Falle man dem Sandboden Kalk zuführen will, hierzu meistens eine Erdart, die nur besonders reich an kohlensaurem Kalke ist, der sogenannte *Mergel*, verwendet. Es ist dieses eine kalkigthonige Ablagerung**), die manchmal auch mit Sand vermischt ist und je nach dem Charakter dieser Beimengung eine entsprechende Bezeichnung erhält. Das Aufbringen von Mergel, welches oft in ausserordentlich grossen Mengen geschieht, gehört z. T. in das schon behandelte Kapitel der Düngungsmethoden, welche auf einem Vermischen von Erdarten beruhen; doch sind die Gesichtspunkte, aus denen sich der Nutzen eines solchen Verfahrens herleitet, teilweise dieselben, welche wir soeben für die Zweckmässigkeit des Kalkens hervorgehoben haben. Beim Mergeln kommt aber noch nebenbei der oft beträchtliche Gehalt an Phosphorsäure und anderen wertvollen Pflanzennährstoffen in Erwägung, und man sucht ausserdem durch dasselbe die physikalische Beschaffenheit eines leichten Bodens ganz direkt zu ändern, während der kohlen-saure Kalk sich entsprechend seiner Zusammensetzung etwas weniger zur Entsäuerung von Moorböden und den anderen oben beschriebenen Wirkungen, zu denen der Ätzkalk besonders tauglich ist, eignet.

*) Dem Ätzkalke kommt auch schon in der Kälte (in unvergleichlich viel höherem Grade freilich in der Glühhitze) die Fähigkeit zu, zur Aufschliessung der schwerersetzbaren Silikate beizutragen, d. h. die Verwitterung derselben zu beschleunigen. Dabei werden dann kalkhaltige Silikate gebildet, und andere vorher diesen Verbindungen angehörigen Basen, von denen hier wieder das Kali von hervorragender Wichtigkeit ist, werden in Freiheit gesetzt oder wenigstens in einen leichtlöslichen Zustand übergeführt. Dann wäre noch der eigentümliche, von der Agrikulturchemie häufig vernachlässigte, aber für den landwirtschaftlichen Pflanzenbau bedeutungsvolle Fall zu erwähnen, dass der Kalk manche Pflanzen wie den Klee durch einseitige Begünstigung desselben bis zu einem gewissen Grade vor Verunkrautung schützt, während z. B. Stickstoffdünger mehr die wettbewerbenden wilden Pflanzen poussieren. (Vergl. die früher angeführten Rothamsteder Versuche, auch Heinrich: Fühling's landw. Zeit., 1873, p. 9.) Solche Gesichtspunkte können natürlich für die Wahl eines Zusatzdüngemittels praktisch entscheidend sein. — Um die so allgemeine Wirksamkeit des Kalkens völlig zu verstehen, muss man auf den Umstand achten, dass der Kalkgehalt eines Bodens wenigstens in regenreichen Gegenden (jedenfalls infolge der Auswaschung, hauptsächlich von Kalknitraten, -Karbonaten, -Sulfaten, durch den Regen) stetig abzunehmen pflegt — in einem Grade, dass ursprüngliche Kalkböden zu solchen werden können, die nur noch wenig oder keinen kohlen-sauren Kalk mehr enthalten. Vergl. vorzüglich: Jahresbericht d. Agrik.-Chem., 1866, p. 8, und van Bemmelen: Landw. Versuchsst., 1866, p. 259. Vergl. auch über diesen ganzen Gegenstand Boussingault: Agronomie, III, 1864, p. 149—205.

**) Analysen der in Holland vorkommenden Mergelsorten findet man bei Staring: Verslagen en Mededeelingen d. Kon. Akad. v. Wetensch. Afd. Natuurk. Deel 10, p. 137. Neuere in Tijdschrift der Heidematschappij, 1894, 5. Einige Mergelanalysen haben wir bereits früher in p. 48 1. Abteilung mitgeteilt. Doch verdienen nur solche von einem hohen Gehalte an kohlen-saurem Kalke für Düngungszwecke in Betracht zu kommen.

Dagegen hat man in neuester Zeit bemerkt*), dass gelöschter Kalk durch seine stark alkalischen Eigenschaften die auf Bakteriensymbiose beruhende Knöllchenbildung an den Wurzeln der Leguminosen zu hintertreiben geneigt ist, daher für den Anbau stickstoffsammelnder Gewächse der Mergel entschieden vor dem Kalke den Vorzug verdient. Dies ist ein wichtiger neuer Gesichtspunkt, der auch bei der Verwendung des gleich zu besprechenden Gaskalkes in Anmerkung genommen zu werden verdient und sicherlich auch für die Wiesendüngung nicht ohne Bedeutung ist.

Es ist nach dem über Kalk- und Mergeldüngung Gesagten nicht mehr nötig hinzuzusetzen, dass die Zufuhr dieser Stoffe in keiner Weise für andere Düngungsmethoden stellvertretend vorgenommen werden kann. Es geht dies nicht bloss aus dem einfachen Umstande hervor, dass jene Düngemittel viele der wertvollsten Pflanzennährstoffe gar nicht in sich enthalten, sondern auch aus jenem anderen Gesichtspunkte, dass für die meisten Bodenarten die Einverleibung von organischen Stoffen, die dort einer langsamen Verwesung unterliegen, durchaus Bedürfnis ist. Die kalkigen Düngemittel enthalten keine derartigen organischen Stoffe in sich, tragen vielmehr zur Zerstörung der noch im Boden vorhandenen Humusstoffe mit grosser Energie bei. Von einem gewissen Zeitpunkt nach einer vorgenommenen Kalkung und Mergelung an ist daher die Zufuhr einer Stallmistdüngung dringendes Bedürfnis, ohne dessen Befriedigung die Ertragsfähigkeit des Bodens sehr wesentlich beeinträchtigt wird, und zwar gilt es hier ein Bedürfnis, welches infolge des schnelleren Umsatzes des Düngerkapitals rascher zu Tage tritt, als es sonst sich geltend gemacht haben würde. Das Aufbringen von Kalk oder Mergel macht einen reichen Boden momentan zu einem fruchtbaren, aber auch zu einem „hungrigen“, und nur zu einem dauernd fruchtbaren, wenn dieser Hunger regelmässig befriedigt wird. Aus diesen Worten erhellt das Wesen des Kalkens und der Mergelung in wirtschaftlicher Beziehung, und wo man dies erkennt, wo man Düngung mit Düngung ohne weitere Berücksichtigung des Charakters derselben identifiziert und infolgedessen glaubt, durch starke Mergelung den Stalldünger (oder dessen Stellvertreter) ersetzen zu können, da trifft dann das bekannte Sprichwort zu: „Der Mergel macht reichen Vater, aber armen Sohn“**), dessen Einseitigkeit indessen andererseits nach der eben gegebenen Darstellung klar zu Tage liegt.

Was die praktische Verwendung von Kalk und Mergel betrifft, so richtet sich dieselbe begreiflicherweise viel mehr nach dem Boden als nach der angebauten Pflanze. Bezüglich der Stärke der Düngung kann gesagt werden, dass der kohlen-saure Kalk und also auch der Mergel, namentlich der thonige, in sehr grossen Mengen Verwendung finden kann, da es ja Bodenarten giebt, die beinahe ganz ausschliesslich und unbeschadet ihrer Fruchtbarkeit wesentlich aus diesen Mate-

*) Salfeld: Deutsche landw. Presse, 1894, Nr. 83. Die bei dem betreffenden Versuche schädlich wirkende Menge Kalk war 2000 kg per Hektar. Auch hat man später gesehen, dass die Mergel geradezu als Impferde gebraucht werden können. Vergl. Jaspers: Landw. Presse, 1895, p. 266.

**) Die gleiche Erfahrung infolge einer zu einseitigen Verwendung der Mergelung ist in dem Ausdruck „ausgemergelt“ niedergelegt, der ursprünglich vom Boden gebraucht worden zu sein scheint.

rialien bestehen. Bezüglich der anzuwendenden Mengen ist viel mehr der Kostenpunkt zu berücksichtigen als der Maassstab der Zweckmässigkeit an sich. Etwas anderes gilt natürlich für den Ätzkalk; derselbe darf natürlich wegen des schädlichen Einflusses alkalischer Substanzen auf das Pflanzenwachstum nur in begrenzten Mengen, gewöhnlich 1000—2000 Kilogramm per Hektar (nur auf steifen Thonböden giebt man mehr), und unter Beobachtung gewisser Vorsichtsmaassregeln (nur auf dem vegetationsleeren Boden) auf die Felder gebracht werden. Der Ätzkalk wird am besten als gebrannter Kalk angekauft und selbst zu einem feinen Pulver gelöscht und dann gleichmässig ausgestreut.

Zwischen Kalk und Gips gewissermaassen in seiner Wirkung mitteninnestehend, ist sodann an dieser Stelle eines Abfallproduktes zu gedenken, das häufig in kleineren Mengen beinahe kostenfrei zu haben ist, allerdings aber auch nur mit grosser Vorsicht verwendet werden darf. Ich meine den *Gaskalk* aus den Kalkreinigern der Gasfabriken. Wir fanden in Wageningen die Zusammensetzung derartiger Produkte:

Wasser	29—30 %
Calciumhydroxyd (gelöschter Kalk)	33—41 „
kohlensaurer Kalk	12—17 „
Gips und schwefeligsaurer Kalk	11—20 „
und etwas Schwefelcalcium	
Rhodancalcium und Cyncalcium	Spuren
Ammoniak	0,01 % *).

Die Gefahr liegt in dem schwefeligen Kalke und dem Schwefelcalcium**), daher es geboten ist, das Produkt an der Luft auszubreiten, bevor man es verwendet. Am besten erscheint es, den Gaskalk ausschliesslich zur Kompostbereitung zu verwenden und solchen Kompost etwa zu gebrauchen wie Mergel.

Als weiteres Düngemittel, das an dieser Stelle noch erwähnt zu werden verdient, ist das *Kochsalz* wenigstens zu nennen. Bei dieser Substanz kann man um so weniger daran zweifeln, dass seine Wirksamkeit eine wesentlich indirekte ist, da dieselbe keine pflanzlichen Nährstoffe in sich enthält***). Eine eingehendere Behandlung mag uns erspart bleiben, da dieses Düngemittel als solches seit dem Erscheinen der Stassfurter Salze auf dem Düngermarkte selbst in England kaum mehr Verwendung finden dürfte.

*) Von anderer Seite wurde aber auch mehr Ammoniak gefunden. Vergl. Jahresber. d. Agrik.-Chem., 16 u. 17, p. 66.

**) Vergl. über diesen Gehalt auch Fittbogen: Landw. Jahrb., 1884, p. 755.

***) Allerdings dürfen wir die Gelegenheit nicht vorbeigehen lassen, um hinzuzufügen, dass durch die am Schlusse der 19. Vorlesung des I. Teils besprochenen Folgerungen aus den lange Jahre fortgesetzten Versuchen von E. v. Wolff die ganze Frage nach der Düngewirkung des Kochsalzes sowie der anderen Stoffe, für welche die wahrgenommene Wirkung nicht einfach aus der bisherigen Lehre der Pflanzenernährung abgeleitet werden kann, in ein neues Stadium gerückt ist. Aus diesen Versuchsergebnissen würde natürlich für die Praxis zu folgern sein, dass zumal für ein Gewächs von grosser Massenentwicklung neben bestimmten Mengen von einzelnen verfügbaren Pflanzennährstoffen ein gewisser Prozentsatz der Düngung in der Form von gleichgültigen löslichen Aschenbestandteilen, also vielleicht auch in der Form von Kochsalz, gegeben werden darf.

Zehnte Vorlesung.

Düngungsversuche.

Mit den Betrachtungen der vorigen Vorlesung hätten wir die Übersicht über die Düngemittel beendet, aber wir stehen noch nicht am Ende unserer Aufgabe. Diese Übersicht hat uns die Zusammensetzung und die vermutliche Brauchbarkeit der einzelnen Düngersorten für bestimmte Fälle gelehrt. Es konnte uns aber dabei nicht verborgen bleiben, in wie wenig Fällen wir, trotz dem erfreulichen Fortschreiten unserer theoretischen Erkenntnis in dem letzten halben Jahrhundert, die Wirkung eines Düngemittels mit Bestimmtheit voraussagen im Stande sind.

Daraus folgt aber unmittelbar, dass in Dünungsangelegenheiten die unmittelbare Erfahrung eine grosse Rolle annehmen muss, und wie es häufig die Aufgabe des Agrikulturchemikers sein wird, anstatt eine Düngewirkung mit Siegesgewissheit voraussagen, selbst das Sammeln von neuen praktischen Erfahrungen anzustreben oder selbst solche hervorzurufen. D. h. also, auch der Theoretiker auf diesem Gebiete hat, will er anders der Landwirtschaft wirkliche Dienste leisten, sich mit dem *Düngungsversuche* zu befassen, denselben zu leiten und noch häufiger ihn selber zu unternehmen.

Aus diesen Worten wäre vielleicht voreilig zu folgern, dass die Theorie der Pflanzenernährung für die praktische Landwirtschaft ohne Nutzen sei. Allein ich bin weit entfernt, diese traurige Ansicht zu vertreten. Wir brauchen uns nur zu erinnern — und wir ersehen dies auch aus dem Vergleich mit den Ländern, wo die praktische Erfahrung ohne alle Hilfe von seiten der Naturwissenschaft wirtschaftet —, welche Verbesserung die Düngungsmethoden durch Einsicht in die Pflanzenernährung, durch die begriffliche Trennung der rohen Düngermasse in einzelne wirksame Pflanzennährstoffe bereits erlitten haben. Wir waren durch diese Erkenntnis befähigt, billigere Bezugsquellen vieler Düngemittel, die für sich angewendet, nur in einzelnen Fällen eine Wirkung ausgeübt haben würden und darum vom praktischen Manne unfehlbar übersehen worden wären, aufzufinden, uns so wertvolle Surrogate für teure Dünger verhältnismässig billig zu beschaffen, ausserdem viele praktische Versuche anzustellen mit Stoffen, die der Theorie nach *wahrscheinlich* eine Wirkung ausüben mussten, und so eine Menge praktischer Erfahrungen anzuregen, die ohne die Theorie niemals gemacht worden wären. Aber es kann andererseits nicht genug hervorgehoben werden, dass stets doch der praktische Düngungsversuch das einzige *endgültig* Maassgebende in diesen Dingen sein kann, da die Verhältnisse, die in der Praxis mit ins Spiel kommen, unmöglich alle theoretisch übersehen werden können, überhaupt teilweise noch gar keiner theoretischen Behandlung fähig sind.

In der Anstellung sowohl als in der Deutung des praktischen Düngungsversuchs liegen aber grosse Schwierigkeiten, und in der Besiegung derselben bietet sich ein

reiches Feld der Wirksamkeit für diejenigen, die bestrebt sind, den Praktiker in der Düngungsfrage zu unterstützen*).

Die Bedeutung, ja die Unentbehrlichkeit des Düngungsversuches erscheint damit klargelegt. Wenn es von seiten der Theoretiker eine Zeit lang Sitte geworden war, denselben zu schmähen, so darf dies nur gelten in Bezug auf seine Verwertbarkeit *als physiologisches Experiment*. Hierzu ist derselbe ein für allemal untauglich, aus dem einfachen Grunde, weil er unter sehr komplizierten, nicht immer klar zu übersehenden Verhältnissen angestellt ist und keiner einfachen klaren Fragestellung entspricht, wie sie die theoretische Forschung unter allen Umständen erheischt. Genau ebensowenig verwertbar ist aber auch das zur Beantwortung gewisser Ernährungsfragen unternommene physiologische Experiment direkt für die Verhältnisse der Landwirtschaft, und der kurzsichtige Praktiker hätte genau ebenso viel Veranlassung, dieses als unnütz zu verwerfen.

Beide, der Düngungsversuch sowohl wie das streng durchgeführte physiologische Experiment, haben ihre hohe unablegbare Bedeutung, jedes in seinem Kreise: der Düngungsversuch direkt für die Zwecke der Praktiker, das physiologische Experiment für unsere naturwissenschaftliche Erkenntnis der Bedingungen des Pflanzenlebens und so indirekt für die Praxis.

Das letztere dient der experimentellen Erörterung physiologischer Fragen, ist also ein wesentliches Element der induktiven Forschung und als solches unentbehrlich. Die Düngungsversuche dagegen sind empirische Hilfsmittel, um auf Grund derselben praktische Regeln abzuleiten.

Wäre die Pflanzenernährungslehre auf Grund von sehr ausgebreiteten Vegetationsversuchen oder gar von Deduktionen aus feststehenden Sätzen der Chemie und Physik eine ausgebaute Wissenschaft, und wäre für die Bodenanalyse eine gleiche, nie zu hoffende Vervollkommenung erreicht, so wäre es möglich, der direkten Felddüngungsversuche zu entraten, oder diese würden nur die Rolle einer erwünschten Verifikation spielen für die deduktive Herleitung des für bestimmte Witterungsverhältnisse zu erwartenden Resultats.

Bei der grossen Bedeutung der klaren Einsicht in diese Verhältnisse ist es angezeigt, die hier geltenden Prinzipien noch etwas näher zu beleuchten. — Eine jede wissenschaftliche Behandlung beruht auf der Abstraktion von natürlichen Komplikationen, die uns bei dem eingeschränkten Zustand unseres Geistes den Einblick in das Wesen der Erscheinungen verdunkeln. Jeder wissenschaftliche Vegetationsver-

*) Es ist leicht einzusehen, warum der praktische Mann, der nur mit den Erfahrungen eines oder einiger wenigen Güter bekannt ist, selbst in der Regel nicht in der Lage ist, in etwas gemeingültiger Weise den Düngerwert irgend eines Düngemittels kennen zu lernen und eine Norm geben zu können für den wahrscheinlich zu erzielenden Erfolg eines ihm bekannten Düngemittels auf einem ihm unbekannten Boden und noch viel weniger für den Düngungserfolg eines ihm unbekannten, nur nach der chemischen Zusammensetzung bekannten Düngemittels. Offenbar kommt es ja gerade darauf an, den wahrscheinlichen Erfolg für ein seinen Eigenschaften nach annäherungsweise bekanntes Feld mit einiger Bestimmtheit vorherzusagen, denn man will ja hauptsächlich über die Anwendbarkeit von Düngemitteln urteilen, die bis dahin auf dem betreffenden Feld noch nicht angewendet worden sind.

such macht gewisse, namentlich bis dahin unerörterte Bedingungen des Pflanzenlebens einander gleich, eine einzelne Bedingung ungleich, um auf den Effekt dieser einen Ungleichheit sein ganzes Augenmerk zu richten. Er arbeitet weiter unter Bedingungen, die samt und sonders bekannt und definierbar sein müssen. Der gewöhnliche Düngerversuch arbeitet dagegen unter praktisch möglichen und darum unter sehr vielfältig kombinierten Umständen. Das logische Resultat des ersteren ist von allgemeiner Bedeutung, aber nicht immer von einer solchen, die sogleich direkt von der Praxis ausgebeutet werden kann. Das Resultat des praktischen Düngerversuches ist sogleich für die Praxis zu gebrauchen, aber hat häufig nur eine ganz lokale Bedeutung, strenge, nur für durchaus ähnliche Bodenarten und übereinstimmende klimatische Verhältnisse.

Am meisten treten diese angedeuteten Unterschiede zwischen Vegetations- und Düngungsversuch an den Tag, wo es das die Wurzeln umgebende Medium betrifft. Gewöhnliche Acker- und Gartenerde, analysiert oder nach rohen praktischen Kennzeichen charakterisiert, enthält in den bestimmenden Momenten, die sie der Pflanzenernährung bietet, so viel Unbekanntes, dass ein mit Hilfe dieses natürlichen Mediums erhaltenes Resultat sehr selten eine allgemeine Bedeutung in Anspruch nehmen darf. Alle Vegetationsversuche mit Erde rangieren darum schon mehr unter die empirischen Düngerversuche, mögen nun dieselben im Glashaus oder in Töpfen oder im Freien und in offener Erde angestellt sein. Sie haben einstweilen nur eine Bedeutung, wenn sich Regeln aus ihnen ergeben, die direkt von praktischem Interesse sind. Sollen derartige Versuche irgend welche wissenschaftliche Bedeutung besitzen, so ist zum mindesten Erfordernis, dass der Versuch mit sehr verschiedenartigen Erden wiederholt sei und ähnliche (oder in einem verständlichen Sinne abweichende) Ergebnisse zur Folge gehabt habe.

Vegetationsversuche können wegen der Komplikation der Erdkonstitution in der Regel nur dann wissenschaftliche Ergebnisse liefern, wenn sie im künstlichen Nährboden angestellt worden sind.

Künstliche Atmosphäre und Beleuchtung sind von viel untergeordneter Bedeutung, weil in dieser Hinsicht die Natur selber eine viel grössere Übereinstimmung zeigt, und die Abweichungen durch meteorologische Beobachtung ziemlich genau festgestellt werden können. Diese Grundsätze sind ausgesprochen oder unausgesprochen ziemlich allgemein anerkannt, und infolge davon ist die Ausbildung der Wasserkultur und der Sandkultur*) als eine wissenschaftliche Errungenschaft anerkannt und die Grundlage geworden für den Aufbau einer Pflanzenernährungslehre. Bei beiden Methoden wird die Wurzelnahrung dargeboten in ihrer Zusammensetzung nach bekannten und (mit einer einzigen Ausnahme) gelösten Salzen, bei der Sandkultur dient das Feste nur als Stütze für die Wurzel, sorgt eventuell auch für eine normale Durchlüftung des Bodenmediums, aber beteiligt sich an der Ernährung selber nicht in merklicher Weise.

Der Düngungsversuch soll, wie gesagt, mehr oder minder direkt der Praxis dienen, Düngungsregeln für dieselbe schaffen, soweit dieselben sich nicht aus feststehenden Sätzen der Ernährungslehre ableiten lassen. Das Gebiet der Empirie ist hier ein um so grösseres, weil die Theorie noch wenig fertig ist, und die kompli-

*) Vergl. I. Teil, 16. Vorlesung.

zierten praktischen Verhältnisse, zumal des Bodens, die Deduktion erschweren. Aber wenn es sich auf diesem Gebiete auch wesentlich um Beibringung von praktischen Regeln handelt, so haben die Düngungsversuche doch auch ihre wissenschaftliche Seite, wie ja überhaupt Wissenschaft und Praxis keine strengen Gegensätze sind. Sie haben eine wissenschaftliche Seite nicht bloss, insofern ihre Methode eine strengere ist als die der überall sich ergebenden Düngeerfahrungen, sondern auch, insofern sie durch Vergleichung mit unvollkommenen deduzierten Sätzen diesen zur Bestätigung dienen.

Das letztere versteht sich eigentlich nach früher Gesagtem von selber. Was aber die Methode angeht, so müssen wir derselben eine besondere Besprechung widmen. Lassen wir die Schwierigkeiten, welche Klima, Witterung und Boden liefern, noch vorerst beiseite liegen, so ist zunächst klar, dass ein Düngeversuch, der mehr sein will als eine beliebige vieldeutige Düngeerfahrung, vergleichende Parzellen haben muss, weil wir nur ganz roh schätzen können, was die Wirkung einer bestimmten Düngung ist, wenn wir nicht daneben halten können, was die Ernte ohne Düngung oder mit einer anderen Düngung geworden sein würde. Hierdurch wird auch zugleich das variable Moment: Witterung, teilweise eliminiert, indem es wenigstens auf die verschiedenen Parzellen in gleicher Weise Einfluss übt. Aber schon was den Grundsatz angeht, wie vergleichende Parzellen angelegt werden sollen, wird das Experiment in sehr verschiedener Weise gehandhabt. Viele Versuchsansteller, namentlich Praktiker, huldigen der Meinung, dass die Düngungen auf verschiedenen Parzellen einen gleichen Geldwert repräsentieren müssten (und wenn sie konsequent verfahren, dass ungedüngte Parzellen unnötig seien), weil sie direkt wissen wollen, wie ein gewisser Aufwand für Düngung am besten in einer Mischung von Stoffen spezifiziert wird. Solche Düngungsversuche, im übrigen noch so sehr nach den Regeln der Kunst ausgeführt, haben jedenfalls nur eine sehr lokale praktische Bedeutung und führen niemals auch nur zu Düngungsregeln von allgemeinerer Gültigkeit; denn der Preis ist, wie bekannt, etwas sehr variables, so dass nur eine bestimmte Zeit und für einen bestimmten Ort die erstrebte Gleichheit thatsächlich besteht. Mit solchen, früher zahlreich in der Litteratur vertretenen Düngeversuchen ist also auch für die empirische Lehre, insofern sie eine allgemeine und umfassende sein soll, wenig oder nichts zu beginnen.

Als ein erstes Erfordernis für einen Düngeversuch, aus welchem sich etwas allgemeinere Regeln sollen ableiten lassen, ist die Anwendung des allgemeinen Grundsatzes für die experimentellen Wissenschaften anzusehen, des Grundsatzes der *Differenzmethode*. Das Resultat, auf einer Parzelle erhalten, hat nur insofern einen allgemeineren Wert, als sich die Vegetationsbedingungen auf ihr, gegenüber denjenigen auf einer benachbarten Parzelle, nur durch die Anwesenheit eines einzigen, möglichst einheitlichen Düngemittels unterscheiden dürfen. Die erste und sehr allgemein verstandene Anwendung dieses Grundsatzes ist natürlich das Anlegen einer ungedüngten (d. h. mit dem fraglichen Düngestoff nicht gedüngten) Vergleichsparzelle. So allgemein diese erste auf der Hand liegende Konsequenz empfunden worden ist, so vielfach sind die Versündigungen gegen andere Konsequenzen des gleichen Grundsatzes. Z. B. muss gefordert werden, dass, wenn mit mehreren Düngemitteln gleichzeitig auf einer

Parzelle operiert wird, nicht nur ungedüngte Parzellen zur Vergleichung erforderlich sind, sondern auch Parzellen, auf denen die im Gemenge angewandten Düngemittel einzeln aufgebracht sind, und zwar im selben Verhältnisse zur Flächeneinheit als im Gemenge, nicht, wie dies manche Versuchsansteller — indem sie instinktiv dem Prinzipie des gleichen Kostenaufwandes etwas einräumen — thun, in etwas grösserem Verhältnisse; denn dann weiss man natürlich nicht, einen wie grossen Teil des Effekts man der grösseren Menge des einen Düngemittels, einen wie grossen Teil man dem anderen zuschreiben soll.

Ein zweiter Verstoss gegen die Forderung einer brauchbaren Versuchsführung ist derjenige, der speziell auf viele Kalidüngungen Bezug hat, nämlich das Verwenden zu komplizierter und ungleich zusammengesetzter Düngemittel überhaupt, namentlich aber, wenn ihre Benennung diese Komplikation nicht erkennen lässt und eine Analyse nicht mitgeteilt wird. Mag nun die Düngung mit rohem schwefelsaurem Kali gegenüber einer ungedüngten Parzelle Mehrertrag oder Minderertrag geben, immer wird die so gewonnene Erfahrung eine vieldeutige sein und sehr fraglich, ob das Kali mit dem Erfolge irgend etwas zu thun hat, während man durch Versuche mit den Komponenten, allein und gemischt, einfachere Zahlen erhalten kann, denen natürlich eine allgemeinere Bedeutung zukommt.

Andere Verstösse von minder grossem Gewicht liegen in der eigentümlichen Berücksichtigung der Witterungseinflüsse. Obgleich die Witterungseinflüsse ja bei nicht ganz ungeschickter Auswahl des Versuchsfeldes auf die vergleichenden Parzellen in gleicher Weise sich geltend machen müssen, so ist doch einleuchtend, dass eine bestimmte Düngungsweise durch bestimmte Witterungsverhältnisse ganz besonders betroffen werden kann, wie z. B. Trockenheit eine mit künstlichen Düngemitteln gedüngte Parzelle in viel stärkerer Weise zu schädigen pflegt als Stallmistparzellen. Es ist daher notwendig, bei Düngungsversuchen, wie dies auch meistens geschieht, auf die Witterungsumstände zu achten*), ja wo möglich über Regenmenge und

*) So wichtig Witterungsbeobachtungen für die kritische Durchführung von Düngungsversuchen erscheinen, so verfehlt muss indessen der Standpunkt derjenigen Versuchsansteller erscheinen, welche, wie Grouven, bei der Anstellung von identischen Düngeversuchen auf Feldern in verschiedenen Gegenden geradezu erklären, dass solche Versuche in erster Linie dazu dienen könnten, den Faktor Witterung in seinem Einflusse auf die Ernte festzustellen. Um den Faktor Witterung in seinem Einflusse auf die Ernte blosszulegen, müssten natürlich alle übrigen Faktoren gleichgemacht sein, also man müsste auf identischen Bodenarten in verschiedenen Gegenden neben sorgfältiger Witterungsbeobachtung die Erntegrösse einer Versuchspflanze bestimmen, oder man müsste im kleinen experimentieren und die Witterung selber durch Begiessen und Beschattung machen. Das erstere ist niemals geschehen, und so erscheinen die Versuche, die sich der zweiten Richtung nähern und wie sie z. B. von Hellriegel gemacht worden sind, um den Bedarf von Pflanzen an Wasser festzustellen, jedenfalls von grösserer Bedeutung für die Frage als die vagen Beobachtungen von Beobachtern, die in dem Vierterlei die Wissenschaftlichkeit suchen. Die Frage nach dem Einflusse der Witterung auf die Vegetation ist in ihrem weiteren Verfolg mehr eine wissenschaftliche als eine praktische, da man praktisch ja doch die Witterung nicht modifizieren kann, und das wenige, was hiervon praktisch ist, nämlich die Auswahl nutzbringender Gewächse nach der wahrscheinlichen Witterung einer Gegend, nach dem Klima, sich ohnehin landwirtschaftlich beinahe von selber vollzieht.

Verteilung derselben über die Vegetationszeit besondere Aufzeichnungen zu machen. Bei Resumierung der Resultate ist dann darauf aufmerksam zu machen, dass diese oder jene Modifikationen für mittlere Witterungsverhältnisse zu erwarten sein würden. Dagegen ist es unkritisch, die Versuche bei extremen Witterungsverhältnissen gänzlich zu verwerfen. Denn was dem Versuchsansteller von seinem subjektiven Standpunkte eines Advokaten für dieses oder jenes Düngemittel als ausserordentlich erscheint, ist dies in der Regel nicht, sondern nur eine gewöhnliche Abweichung von den als ein ideales Centrum gedachten mittleren Verhältnissen. Dies geht am besten hervor aus der Häufigkeit derartiger Klagen. Wenn man diejenigen Versuche, welche von den Versuchsanstellern als nicht brauchbar „wegen ungewöhnlicher Trockenheit“, nicht einfach ausmerzte, sondern mitgebrauchte für ein statistisches Bild der Wirksamkeit eines Düngemittels unter mittleren Verhältnissen, so würde man der Wahrheit näher kommen und jedenfalls sich nicht einer Beschönigung ungewünschter Versuchsergebnisse schuldig machen.

Ein weiteres kritisches Erfordernis für einen vergleichenden Düngerversuch ist es natürlich, dass der Boden erstens über das ganze Versuchsfeld gleich und dann in seinen Eigenschaften bekannt sei. An die erstere Schwierigkeit ist man lange Zeit mit ganz unzulänglichen Mitteln herangetreten und wir müssen hierüber ausführlicher sprechen. Der letzteren kann man nicht ganz gerecht werden, weil der gegenwärtige Zustand der Bodenanalyse und der Bodenbakteriologie, in dem sie wohl noch lange Zeit verbleiben werden, eine genaue Definition der maassgebenden Eigenschaften der Erde verbietet. In jedem Falle versteht es sich aber von selbst, dass ein Düngerversuch auf einem Boden, der chemisch und physikalisch gar nicht beschrieben ist, für sich allein keinen Wert hat und auch nur zu einem ganz rohen Durchschnittsbilde zu benutzen ist. Trotzdem fallen sehr viele und auch sonst sorgfältig ausgeführte Düngungsversuche, namentlich viele aus England, in diese Kategorie.

Einer weitläufigeren Besprechung bedarf die natürliche Ungleichheit der Erde auf vergleichenden Parzellen. Als man mit Düngungsversuchen begann, hat man sich hierüber nicht viel Kopfzerbrechen gemacht. Erst als man mitunter zu ganz unmöglichen Zahlen kam, fing man an, mehrere ungedüngte Parzellen einzuschalten und erkannte, dass diese häufig grössere Ungleichheiten zeigten als die ungleich gedüngten. Man wurde dann vorsichtiger in der Auswahl der Versuchsfelder, erkundigte sich nach der vorausgehenden gleichen Behandlung mehrere Jahre rückwärts, achtete auf den gleichmässigen Stand der Vorfrucht, untersuchte den Untergrund. Man erkannte so, dass es, zumal für gewisse geologische Formationen oder gartenmässig bebaute Gegenden, beinahe unthunlich sei, und je mehr der Boden durch vorausgehende Versuche schon in Anspruch genommen war, um so unthunlicher, ein brauchbares Versuchsfeld auszuwählen. Wo der Übelstand sich herausgestellt hatte oder man denselben befürchtete, behalf man sich auf zweierlei Weise. Man nahm die Versuchsfelder sehr lang und schmal, oder — und dies ein Mittel der neueren Zeit — man mischte die Erde.

Die langen schmalen Parzellen, die Versuchsstreifen, sind eine logische Merkwürdigkeit. Anscheinend ganz willkürlich, haben sie doch eine gewisse Berechtigung, die namentlich sich daher schreibt, dass die Äcker in der Regel senkrecht auf den

Feldweg, an dem sie gelegen sind, die grössten Dimensionen haben*). Gegen den Weg zu haben aber die meisten Äcker infolge von Anlegen von Komposthäufen, gründlicherer Bodenbearbeitung, überhaupt wegen Umständen, welche der grösseren Zugänglichkeit dieses Stücks entspringen, eine grössere Fruchtbarkeit. (In dem nachher mitzuteilenden Düngungsversuche wird sich dieser Fall bestätigt finden.) Diese fruchtbaren Stücke nun werden durch die langen Parzellen gleichmässig durchschnitten.

Das beste Mittel, wirklich gleichartigen Boden zur Grundlage für vergleichende Düngerversuche zu haben, ist aber das künstliche Gleichmachen desselben, das Erdevermischen. Gegen diese Methode bestehen, soweit bekannt, zwei Einwürfe, die namentlich von praktischer Seite erhoben worden sind. Solche Düngerversuche können der Kosten wegen nur in kleinem Maassstabe ausgeführt werden, und hierauf wird verwiesen als auf eine Fehlerquelle, die sich, beim Übertragen der Resultate ins grosse, in gefährlicher Weise multipliziert.

Ein zweiter Einwand ist der, dass der Boden durch das Mischen selber seine Eigenschaften als natürlicher Boden verliere, eine unnatürliche Mischung und Lockerheit gewinne. Dieser letztere Einwand, welcher von seiten der landwirtschaftlichen Praxis wohl erhoben worden ist, scheint nun leicht beiseite zu schaffen, denn man wird durch Mischung eines Bodens von benachbarter Lage nicht leicht einen Boden schaffen können, der nicht auch irdendwo in der Natur vorkommen wird und was die unnatürliche Lockerheit angeht, so ist dies auch ein Zustand, wie er nach mancher Art der Bodenbearbeitung beinahe ebenso in der Praxis erreicht wird, ohne dass sich dabei ganz veränderte Düngewirkungen herausgestellt hätten, und zudem geht der Zustand der Lockerung gar bald wieder in einen von mehr mittlerer Dichtheit über.

Mehr Beachtung verdient der andere Einwurf von der Kleinheit der Parzellen. Hier müssen wir wenigstens analysieren, warum kleine Parzellen**) gefährlich gefunden werden. Sie sind es natürlich in allerhöchstem Maasse, so lange man es mit natürlichem, ungemischtem Boden zu thun hat, weil dann geognostische Verschiedenheit, vorausgehende Behandlung des Bodens, ungleiches Vertiefen der Krume durch einseitiges Pflügen etc., von dem grössten Einflusse sind. Doch diese Gefahren bleiben nicht bestehen in dem bis zur Sohle gleichmässig gemischten Boden. Aber

*) Dies natürlich deshalb, weil man auf diese Weise mit einem Minimum an Wegen ein Maximum von Ackerstücken zugänglich machen kann.

**) Auch auf die praktisch ganz unmöglichen Zahlen, welche man durch Multiplikation der Ernten ganz kleiner Parzellen auf den Hektar erhält, ist durch Professor Thaer in Giessen u. a. hingewiesen worden. Das ist natürlich ein Fehler, wenn die so mitgetheilten Ergebnisse den Schein erwecken sollen oder auch nur erwecken, als seien dieselben im grossen wirklich zu erreichen, nicht aber, wenn man für die erhaltenen Zahlen im Auge behält, dass sie für die Verhältnisse der praktischen Landwirtschaft mit einem Reduktionskoeffizienten versehen werden müssen. Auf eine gewisse Grundfläche müssen alle Resultate doch in jedem Falle der Übersichtlichkeit wegen umgerechnet werden, und ob dies auf den Hektar geschieht oder auf den Quadratmeter, deswegen bleiben die relativen (sehr zweckmässig auch prozentisch auszudrückenden) Mehrerträge doch genau dieselben. Ich halte also diesen Einwurf mehr für einen der Art, wie er für ungeschickte Publikationen einem bauerlichen Publikum gegenüber wohl zu Recht bestehen mag, aber für keinen solchen, der die Düngungsversuche im kleinen Maassstabe selbst betrifft.

freilich andere Ungleichheiten, die auf die endgültige Kalkulation von allergrösstem Einflüsse sind, bleiben bestehen, die individuelle Ungleichheit der Pflanzen und zufällige störende Ursachen, namentlich Schädigung durch Tiere. Die Pflanzenindividualität ist nun keine so grosse Schwierigkeit, wenn man nur einige Aufmerksamkeit der Auswahl des Samens zuwendet. Sie ist freilich bei verschiedenen Pflanzen sehr verschieden gross und damit muss gerechnet werden.

Die zufälligen Einflüsse dagegen, die beinahe alle auf Beschädigung von seiten der Tiere zurückzuführen sind, können, ohne dass dadurch aus dem Düngerversuch nun plötzlich ein blosser für praktische Folgerungen unbrauchbarer Vegetationsversuch wird, abgeschwächt oder ganz beseitigt werden, und sind in manchen Versuchen ferne gehalten worden, durch Spannen von Netzen, Ziehen von unterirdischen Querwänden, Gräben mit Teerschnüren um das ganze Versuchsstück hin und dergleichen mehr. Die Hauptsache aber muss leisten die sorgfältige Überwachung des Düngerversuchs, wodurch die meisten solcher schädlichen Einflüsse ferne gehalten werden können; ferner, was bisher beinahe nicht geschehen ist, die Auswahl des Erntematerials, worauf wir nun zu sprechen kommen.

Darin besteht ja auch ein durchgehender Unterschied schon zwischen den eigentlichen praktischen Düngerversuchen und den Vegetationsversuchen, dass man bei den ersteren die Zahl der geernteten Pflanzen entweder gar nicht, oder nur in zweiter Linie berücksichtigt, während bei den letzteren das Experiment stets eine gleiche Zahl von Versuchsobjekten zu Grunde legte. Im ersteren Falle unterlässt man dies aber nur, nicht bloss wegen der Unausführbarkeit in den meisten Fällen, nämlich bei grossen Parzellen und kleiner räumlichen Ausdehnung des Pflanzenindividuums, sondern auch, wo die Zählung leicht ausführbar ist, wie bei Rüben, benutzte man sie nur, um etwa die Anzahl der Fehlstellen zu berechnen und hieraus über die relative Brauchbarkeit des Versuches zu urteilen, oder höchstens zu einer Korrektur der als Ernteresultat geltenden Gesamtgewichtsresultate. Man sieht aus letzterem, dass auch ein logischer Grund davon abgehalten hat, in ähnlicher Weise wie bei den Vegetationsversuchen vorzugehen und etwa aus der Entwicklung einer genügenden Anzahl charakteristischer auf den Gesamtertrag der Parzelle zu schliessen.

Dieser logische Grund ist nun offenbar der, dass man sich des Einflusses von Anzahl der Pflanzen auf einer gewissen Grundfläche zu der Entwicklung der Einzelpflanze sehr wohl bewusst war, ausserdem auch wohl, dass man den Einfluss eines Düngemittels auf das Aufgehen von Saatgut und Wiedereingehen von Pflanzen, als mit zu dessen praktischen Punkten der Beurteilung gehörig, in dem Endresultate gleich mit berücksichtigt haben wollte. Dem letzteren Gesichtspunkte brauchen wir keine besondere Aufmerksamkeit mehr zu schenken, weil sich dieser Einfluss eines Düngemittels mit geringer Mühewaltung leicht besonders ermitteln lässt. Was aber die zuerst genannte Schwierigkeit angeht, so muss die Zählung der Pflanzen auf einer gewissen Grundfläche samt der Wägung einer so grossen Anzahl von mittleren Pflanzen, als zur Gewinnung eines Durchschnittes (der durch fernere Zuziehung von weiteren Exemplaren nicht mehr sehr variiert) notwendig ist, dasselbe Resultat geben, wie die Wägung der Totalernte. Die alte Methode hat dabei die grosse Schattenseite, dass man alle zufälligen Fehler des Düngerversuches, wie Beschädigung durch

Tiere, mit in Kauf nehmen muss, während die Zählung und Wägung im einzelnen nur die Schwierigkeit besitzt, dass an Stelle der rohen Erfahrung eine kritische Auswahl gesetzt wird, und diese schwache Seelen in Verführung bringt.

Gewiss liesse sich der Düngerversuch in der angedeuteten Richtung noch weiter exakter und exakter machen. Ich breche aber die Darstellung eines solchen Bestrebens an dieser Stelle ab, da in den letzten Jahren eine andere Methode, welche den eigentlichen Vegetationsversuchen noch näher, den praktischen Düngerversuchen noch ferner steht, einen sehr hohen Grad von Vollkommenheit erreicht hat und daher sehr allgemein für die Lösung von Düngungsfragen verwendet worden ist. Ich meine natürlich die durch P. Wagner ausgebildete Methode von Düngungsversuchen in grossen Zinktöpfen und unter Glasdach, die von dem Urheber *agrikulturchemische Düngungsversuche* getauft worden sind. Die hierbei benutzten Töpfe sind cylindrisch und unten mit etwas losem Kiese und dann weiter mit gleichmässig gemischter und über die verschiedenen Versuchsgefässe gut verteilter Erde angefüllt. Infolge des völligen Gleichmachens aller Umstände ist die Methode sehr exakt, so dass gleich behandelte Töpfe beinahe genau das gleiche Resultat liefern.

Die Wagner'sche Methode kann dagegen nicht an die Stelle treten der gewöhnlichen Düngungsversuche unter den Umständen, wie sie die Praxis darbietet; aber sie macht auch nicht den Anspruch darauf. Ihr Erfinder selbst hat sie ja deshalb „agrikulturchemischen Düngungsversuch“ genannt, weil er daneben noch freien Raum lässt für den „praktischen Düngungsversuch“. Die Fälle, in welchen man sich des ersteren bedienen kann, sind beschränkt; aber in diesen beschränkten Fällen giebt er ein unendlich viel exakteres Resultat als der gewöhnliche Düngungsversuch, bei welchem die im Versuche selbst gelegenen Fehler so oft das Resultat verschwinden lassen und man mehrere Resultate abwarten und zuweilen kombinieren muss, um zu einem einigermaassen sicheren Schlusse zu gelangen.

Rentabilitätsfragen sind z. B. niemals, wenigstens nicht direkt durch Anwendung der Wagner'schen Methode zu lösen, aber wohl kann man viele andere Fragen durch dieselbe beantworten, z. B. zwei Düngemittel, welche dieselben düngenden Bestandteile enthalten, auf diese Weise vergleichen und feststellen, inwiefern sie sich dazu eignen, durch die Pflanzenwurzel aufgenommen zu werden.

Als Beispiel eines solchen Düngungsversuchs nach der Methode von Wagner mag der folgende, an der Versuchsstation Wageningen ausgeführte*) dienen, nicht seiner hervorragenden Bedeutung oder tadellosen Ausführung wegen, sondern weil ich für die mitgeteilten Einzelheiten persönlich eintreten kann, und ausserdem die Resultate desselben in deutscher Sprache noch nicht veröffentlicht sind. Zugleich wird man auf diese Weise schnell mit dem Wesen eines solchen Versuchs vertraut werden. Zweck dieses Versuches war, ein der nordfranzösischen Kreideformation entstammendes Phosphat, welches durch Düngerhändler sehr gepriesen worden war, das sogenannte Cambresisphosphat, auf seinen Düngewert zu prüfen.

Zehn Töpfe, von welchen ein jeder 22 kg Erde fasste, wurden mit nachfolgenden Stoffen gedüngt und man säete am 12. Oktober vorläufig Roggen ein. Die angewandte Erde war ein unfruchtbarer Sandboden aus dem Kiesdiluvium der Veluwe,

*) Vergl. Landbk. Tijdschrift, 1894, p. 16.

einer Heidegegend der Provinz Gelderland, welcher für keine einzige Kulturpflanze disponible Phosphorsäure in genügender Menge enthält. Die in der nachfolgenden Tabelle genannten Düngestoffe wurden mit einem Löffel in der obersten Erdschichte verteilt, ungefähr der praktisch möglichen Unterbringung des Kunstdüngers entsprechend.

Topf	Kainit	Chilisalpeter	Kalisalpeter			
1	10 gr	4 gr	4 gr	0,7 gr	42,8 %	Superphosphat
2	"	"	"	1,4 "	"	"
3	"	"	"	4 "	16,2 %	Thomasphosphat
4	"	"	"	8 "	"	"
5	"	"	"	$\frac{1}{2}$ "		Gips
6	"	"	"	1 "	"	"
7	"	"	"	5,2 "	14,7 %	Cambresisphosphat
8	"	"	"	5,2 "	"	"
9	"	"	"	10,4 "	"	"
10	"	"	"	10,4 "	"	"

Wie aus diesen Mitteilungen ersehen werden kann, waren Stickstoff und Kali und die übrigen Pflanzennährstoffe in reichlicher Menge vorhanden. Nur die Phosphorsäure fehlte, für soweit sie nicht in der Form der zu untersuchenden Stoffe gegeben war, beinahe ganz.

Phosphorsäure war vorhanden in Topf 1) 0,30 gr in der Form von Superphosphat

"	2) 0,60 "	"	"
"	3) 0,648 "	"	Thomasphosphat
"	4) 1,296 "	"	"
"	5) 0 "	"	Gips
"	6) 0 "	"	"
"	7) 0,764 "	"	Cambresisphosphat
"	8) 0,764 "	"	"
"	9) 1,528 "	"	"
"	10) 1,528 "	"	"

Bei der Anwendung der, nach meiner Schätzung a priori, schwerer disponiblen Formen wurde mehr Phosphorsäure gegeben, um auf diese Weise die Ernährung der Pflanzen mehr einander gleich zu machen; im übrigen wurde jede Düngung in zwei verschiedenen Mengen verabreicht, mit dem Zweck, quantitative Fehlgriffe in der einen oder anderen Richtung eliminieren zu können. Auch wurden zwei Töpfe ohne Phosphorsäure 5 und 6 hinzugefügt, um zu sehen, inwiefern aus dem unfruchtbaren Boden selbst noch Phosphorsäure gezogen werden konnte. Am 12. Oktober säete man in die Töpfe je 23 Roggenkörner, alle von derselben Grösse.

Die Töpfe standen alle unter einem Glasdach und der Wassergehalt konnte also nach Belieben auf die halbe Kapazität geregelt werden. Da jeder einzelne Topf alle 2—3 Tage gewogen und das fehlende Wasser bei dieser Gelegenheit zugegossen wurde, war dafür gesorgt, dass der Wassergehalt immer ungefähr der meist erwünschte war.

Der strenge Winter jedoch war die Ursache, dass das erste Gewächs erfror zu einem Zeitpunkte, wo die Entwicklung noch viel zu schwach war, um den Einfluss der Düngung richtig beurteilen zu können. Jedoch war damals schon der Stand im

ersten und zweiten Topfe am besten, und wir bestimmten die durchschnittlichen Gewichte der abgestorbenen Pflanzen, welche Zahlen sich wie folgt gestalteten:

Superphosphat	Topf 1—2	0,14 gr lufttrocken
Thomasphosphat	" 3—4	0,105 " "
Keine Phosphorsäure	" 5—6	0,08 " "
Cambresisphosphat	" 7—10	0,093 " "

Ich teile diese an sich wenig bedeutenden Zahlen mit, weil sie mit den später erzielten übereinstimmen, und man also aus diesem Beispiele sehen kann, wie man unter bestimmten Voraussetzungen schon das zukünftige Resultat aus dem Zustande der jungen Pflanze vorausbestimmen kann. Am 21. März wurden wieder 25 Körner, diesmal Sommerroggen gesät, später bis auf 20 Pflanzen verzogen, und schon am 28. April waren wieder dieselben Unterschiede deutlich zu sehen. Nach der Üppigkeit des Bestandes geordnet, ergab sich damals, wenn man bei dem besten Bestande anfang, die folgende Reihenfolge: 2, 1, 4, 3, 10, 9, 8, 7, 5, 6, und so blieb es den ganzen Sommer, bis die Pflanzen gegen den 14. Juli reif waren und geerntet wurden. Diese Ernte ergab:

In Topf		Zahl der Pflanzen.	Stroh und Spreu.		Körner.	
			Total.	Von einer Pflanze in Grammen.	Total. durchschnittlich in Grammen.	Von einer Pflanze in Grammen.
1	Superphosphat	20	117,5	5,875	38,7	1,935
"	2 "	20	121,5	6,075	47,35	2,368
"	3 Thomasphosphat	20	94	4,7	22,65	1,133
"	4 "	20	94,5	4,725	32,08	1,604
"	5 Gips	20	74	3,7	14,85	0,743
"	6 "	20	50,5	2,525	11,1	0,555
"	7 Cambresisphosphat	19	74	3,9	17,0	0,90
"	8 "	20	62	3,1	16,3	0,815
"	9 "	21	80	3,8	19,85	0,945
"	10 "	20	80	4,0	18,75	0,938.

Um den Mehrertrag bei den verschiedenen Düngungsweisen durch eine einzelne Reihe von Zahlen angeben zu können, halte ich es für dienlich, Stroh- und Körnerertrag zusammen zu kombinieren, zu welchem Zweck ich vorschlage, die Zahlen des Strohertrages durch 4 zu dividieren, da das Stroh einen ungefähr viermal geringeren Wert hat als das Korn*). Auf diese Weise ergibt sich:

In Topf 1	68,1 gr Körner + $\frac{1}{4}$ Stroh
" 2	77,8 " "
" 3	46,2 " "
" 4	55,9 " "
" 5	33,4 " "
" 6	23,9 " "

*) Das ist bei dem wechselnden Wertverhältnis natürlich nur für ein bestimmtes genau, giebt aber ein übersichtliches Bild für diese Umstände.

In Topf 7	35,5 gr Körner + $\frac{1}{4}$ Stroh,
„ 8	31,8 „ „
„ 9	39,9 „ „
„ 10	38,8 „ „

Das Kennzeichen eines gut gelungenen Versuches ist Übereinstimmung derjenigen Resultate, welche bei gleicher Behandlung erzielt wurden.

Als solche können wir herausgreifen Nr. 9 und 10, welche nur 1 gr, Nr. 7 und 8, welche nur 3,7 gr differieren. Beide Zahlen sind nur kleine Bruchteile der Differenzen bei ungleich gedüngten Töpfen (bis 50 gr). Die Erträge der Töpfe (Nr. 5 und 6) ohne Phosphorsäure, bei welchen die Düngung auch im übrigen wenigstens beinahe gleich war, zeigen dagegen miteinander verglichen einen viel grösseren Unterschied und zwar beinahe 10 gr. Der Grund dieser Erscheinung ist mir jedoch bekannt. Die Stengelteile dieser Pflanzen, welche sich bei Phosphorsäuremangel ausgebildet hatten, waren von einer besonderen Schwäche und litten infolgedessen grossen Schaden durch den Wind, von welchem zufälligerweise die Pflanzen von Topf Nr. 6 stärker zu leiden hatten als die von Topf Nr. 5. Ich halte es deshalb für gerechter, als Produktionsziffer ohne Phosphorsäuredüngung in diesem Falle nicht die Durchschnittszahl der beiden Erträge, sondern eine Zahl zu wählen, näher gelegen bei Topf Nr. 5, und zwar 30 gr. Im übrigen spricht der mit der Vermehrung der Phosphorsäuredüngung sich einstellende regelmässige Klimax in den Zahlen, welche die Grösse der Produktion andeuten, auch sehr für die Zuverlässigkeit der Resultate.

Auf diese Weise festgestellt, beträgt die Vermehrung der Produktion durch die Phosphorsäure:

Nr. 1 durch Superphosphat	38,1 gr oder 127 %
„ 3 „ Thomasschlackenmehl	16,2 „ 54 „
Nr. 7 u. 8 im Durchschnitt „ Cambresisphosphat	3,6 „ 12 „

und bei Anwendung der doppelten Menge:

Nr. 2 durch Superphosphat	47,8 gr oder 159 %
4 „ Thomasschlackenmehl	25,9 „ 86 „
Nr. 9 u. 10 im Durchschnitt „ Cambresisphosphat	9,3 „ 31 „

Da die Kosten für die Phosphorsäuredüngung in je vier zu einander gehörenden Fällen nicht weit auseinander laufen — es wurde von den nicht aufgelösten Phosphaten, in welcher Form die Phosphorsäure ungefähr die Hälfte weniger kostet, ungefähr das Doppelte gebraucht — bringen diese Mehrerträge zu gleicher Zeit die Rentabilität für jede Düngungsweise zur Darstellung, für soweit bei Topfversuchen überhaupt von einer Rentabilitätsberechnung die Rede sein kann. Nur müssen zu diesem Zwecke die vier zuletzt genannten grösseren Erträge, erzielt durch eine doppelte Düngung, durch 2 dividiert und also auf 80 für Superphosphat, 43 für Thomaspheosphat und 16 % für Cambresisphosphat zurückgebracht werden.

Beachtenswert ist ferner, dass der erreichte Effekt bei Düngung mit den schwer löslichen Phosphaten beinahe proportional ist mit der gebrauchten Quantität, was bei dem Superphosphat, wo schon die kleinste Menge im stande war, einen beinahe maximalen Ertrag zu geben, nicht der Fall war. Diese sehr natürliche und zu

gleicher Zeit die Zuverlässigkeit der Resultate bekräftigende Thatsache setzt uns in den Stand, approximativ auszurechnen, wieviel Cambresisphosphat man hätte zuführen müssen, um den Mehrertrag auf die Höhe, welche dieser bei Anwendung des Superphosphates hatte, zu steigern. Ziehen wir von allen Versuchen mit dem Cambresisphosphat den Durchschnitt, so kann man sagen, dass 2,3 gr Phosphorsäure in dieser Form einen Mehrertrag von 43 % geliefert haben würde; um einen Mehrertrag von 127 % zu erreichen, würden also ungefähr 6,9 gr von dieser Phosphorsäure erforderlich gewesen sein, welche alsdann dasselbe bewirkt haben würden, wie 0,3 gr Superphosphatphosphorsäure; als Wert der Cambresisphosphorsäure würde sich also ergeben etwa 2 Pfennig pro kg, wohl zu verstehen, beurteilt nach den Resultaten des ersten Jahres.

Ich setze aber gleich hinzu, dass — wie ich schon mehrfach erwähnte — Topfversuche nicht dazu geeignet sind, Rentabilitätsfragen endgültig zu lösen. Da bei derartigen Versuchen alle übrigen Vegetationsbedingungen so günstig wie möglich gemacht werden, tritt der Einfluss des betreffenden variablen Momentes, in diesem Falle die Phosphorsäure, besonders scharf hervor, welches sehr geeignet dazu ist, den Einfluss *hervorzuheben*, aber nicht dazu, den Wert desselben unter den Umständen, welche in der Praxis berücksichtigt werden müssen, genau zu messen. Man kann sagen, es ist gewissermaassen eine Untersuchung unter dem Mikroskop, welche alle Dinge und Grössen in grösserem Maassstabe wiedergiebt.

Dieses ist auch ersichtlich, wenn man auf dieselbe Weise, wie dieses oben geschah, den Wert der Thomasschlackenphosphorsäure aus diesen Untersuchungen ableitet. Um zu einem Mehrertrag von 127 % zu gelangen, hätte man gewiss 1,8 gr von dieser Phosphorsäure anwenden müssen, also sechsmal soviel als von der löslichen Phosphorsäure, wodurch der Wert der Thomasschlackenphosphorsäure bis auf 8,5 Pf. zurückgehen würde, während wir doch reichlich das doppelte dafür bezahlen und wir dieses nach praktischen Erfahrungen auch thun dürfen.

Lehrreich ist für uns auch noch die Bilanz*) von der gegebenen und durch die Pflanzen aufgenommenen Phosphorsäure, wovon ich hier eine Übersicht gebe:

	Topf	Superphosphat		Thomasschlackmehl		Keine Phosphorsäure		Cambresisphosphat			
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Phosphorsäure in mgr											
Im Stroh anwesend	35	55	47	28	15	20	30	25	48	40	
Im Korn „	159	194	97	141	55	41	65	60	81	75	
Total	194	249	144	169	70	62	95	85	129	115	
Mit der Düngung gegeben	300	600	648	1296	0	0	764	764	1528	1528	
Prozentisch davon in die Pflanze übergegangen nach Abzug von 70 mgr, welche, wie es sich herausstellte, im Boden disponibel waren	43,0	30,5	12,0	7,9			3,3	2,5	4,1	3,2	
							2,9		3,7.		

Bemerkenswert und sehr sprechend für die Brauchbarkeit dieser Versuche ist die grosse Übereinstimmung der oben berechneten Mehrerträge mit den hier er-

*) Der Gehalt an Phosphorsäure in der kleinen Menge der zuerst geernteten Pflanzenmasse der erfrornen Roggenpflanzen blieb hierbei unberücksichtigt.

haltenen Zahlen, welche die Prozente Phosphorsäure, welche in die Pflanze übergehen, wiedergeben. In beiden Fällen steht das Superphosphat obenan, dann folgt nach einem grossen Zwischenraum das Thomasphosphat und ganz schliesslich das Cambresiphosphat.

Natürlich konnte also aus solch einem Versuch die Geringwertigkeit des in Rede stehenden Phosphats mit Sicherheit erschlossen werden, wie denn dieses Resultat nachher in der That durch belgische Versuchsansteller bestätigt worden ist.

Ich meine, dass solch ein Beispiel besser wie eine lange theoretische Erörterung die Bedeutung des agrikulturchemischen Düngungsversuches in das rechte Licht stellt. Dass dieser Versuch kein ausgesucht mustergültiger gewesen ist, ist gerade recht, denn auf diese Weise verzweifelt der Anfänger in diesen Dingen nicht so leicht, wenn ihm nicht gleich fehlerlose Versuche gelingen wollen, und ausserdem erlangt er ein Urteil darüber, wie weit man in der Korrektion von mangelhaften Resultaten etwa gehen darf.

Geradeso, wie wir soeben zur Illustration des sog. agrikulturchemischen Düngversuches in Töpfen ein Beispiel aus der experimentellen Thätigkeit der Versuchstation zu Wageningen angeführt haben, so wollen wir jetzt auch den praktischen Düngerversuch durch ein solches Beispiel illustrieren. Es handelte sich im vorliegenden Falle um die Ertragssteigerung eines weitab von Stätten der Mistproduktion gelegenen Wiesengeländes durch leicht zu transportierenden Kunstdünger.

Das Stück Land, zu diesen Versuchen benutzt, gab in dem kalten, aber feuchten Jahre 1888, auf die alte Weise behandelt, 3400 kg Heu pro ha und in dem darauf folgenden, ausserordentlich günstigen Jahre 1889, nachdem indessen die sonst übliche Nachweide unterlassen worden war, 4250 kg.

Man vergleiche zunächst mit diesen Erträgen solche, welche anderwärts erlangt werden auf gut gedüngtem Graslande. Eine gute Heuernte wird gerechnet auf 7000 kg per ha jährlich und in aussergewöhnlichen Jahren kann gutes Wiesenland 8000 à 9000 kg und mehr Heu in mehreren Schnitten liefern. Das zu düngende Wiesenland giebt also, auf die gewöhnliche Weise behandelt, ungefähr die Hälfte von der Ernte, welche man unter normalen Umständen erwarten kann. Dieses zur Illustration des quantitativen Ertrags. Viel grösser wird jedoch der Unterschied, wenn man nebenbei auch achtet auf die Qualität des Heues*). Dieselbe war äusserst schlecht und es ist eine bekannte Sache, dass ein so schlecht zusammengesetztes Heu einen sehr geringen Wert hat. Über die Ursachen davon, bei nur geringer Differenz in

*) Das geerntete Heu wurde nämlich einer botanischen Untersuchung unterworfen und darin nachfolgende Pflanzen gefunden (die am meisten vorkommenden Pflanzen sind kursiv gedruckt):

An guten Gräsern: nichts.

An Kleearten und Leguminosen: etwas Weissklee und wenig *Vicia Cracca*.

An geringen Gräsern: *Agrostis stolonifera*, *Briza media*, *Festuca duriuscula*, *Molinia coerulea*, wenig *Cynosurus cristatus*.

An Unkräutern: *Phragmites communis*, *Juncus*, *Plantago media*, *Rhinanthus*, *Ranunculus flammula*, *Galium*, *Spiraea*, *Ulmaria*, *Potentilla Anserina*, *Chrysanthemum leucanthemum*, *Daucus carota*, *Gentiana Pneumonanthe*, *Centaurea Jacea*, *Sphagnum*, *Prunella vulgaris*, *Cirsium*, wenig *Mentha*, *Achillaea*, *Hypericum*, *Equisetum*.

der chemischen Zusammensetzung von verschiedenen Heuarten, wenigstens was ihren Gehalt an Nährstoffen betrifft, will ich an dieser Stelle nicht in Details treten*). Nur glaube ich bemerken zu müssen, dass dabei vermutlich sowohl der Kieselsäuregehalt von *Phragmitis* und *Equisetumarten***) als der Gehalt an anderen schädlichen Stoffen, z. B. in den *Ranunculusarten*, oder die Härte der Pflanzen der *Juncus-species* eine grosse Rolle spielt. Genug, der Futterwert von solchem Heu ist gering, selbst so, dass viele Landwirte solches Heu überhaupt nicht oder doch nur als Einstreu benutzen würden, womit der Preis natürlich in Einklang steht.

Die Heupreise unterliegen grossen Schwankungen und es ist aus diesem Grunde schwierig, bestimmte Preise für ein derartiges Heu anzunehmen. Aber rechnet man in dieser Gegend durchschnittlich 500 kg gutes Heu auf 30 Mark, so würde der Wert des obengenannten Heues sich nicht höher stellen als 10 Mark für dieselbe Menge. Einen durchschnittlichen Ertrag von 3500 kg angenommen, entspräche dieses einem Rothertrage von 70 Mark pro ha.

Der Anfang der Vegetation fällt im Frühjahr mindestens sechs Wochen später als auf gut behandelten Wiesen und Weiden. Anfang Mai ist in der Regel alles noch tot und fahl. Gewöhnlich kann man bei diesen Wiesen, welche nur zum kleinsten Teile noch im Spätjahr durch das Vieh beweidet werden, erst in der zweiten Hälfte des August mit der Heuernte anfangen.

Dieses ist der Zustand, wie er sich thatsächlich in dem ganzen Gelände, in welchem der Düngungsversuch vorgenommen werden sollte, bis auf wenige Ausnahmen vorfindet. Und doch kann kein Zweifel daran bestehen, dass dasselbe Land, bei seiner an und für sich günstigen Bodenzusammensetzung (mooriger Thonboden***), bei seiner, was den Wasserstand betrifft, gegenwärtig günstigen Lage,

*) Ich habe diese Frage näher erörtert im Journal für Landwirtschaft, 1884, p. 185 u. Landbouwk. Tijdschrift, 1893, p. 180.

**) Wir fanden in einem Gemisch von *Equisetum hiemale* und *arvense* beinahe 9% Kieselsäure in der lufttrockenen Substanz, Schultz-Fleeth fand ungefähr dasselbe in *Phragmites*blättern, während der Gehalt in zwei süssen Gräsern, *Poa pratensis* und *Anthoxanthum odoratum*, nur zwischen 2 und 3% variierte. *Carex vulgaris* haben wir in Übereinstimmung mit andren Untersuchern nicht reich an Kieselsäure gefunden.

***) Die Analyse des Bodens ergab:

Humus (Glühverlust)	21	%	} in verdünnter Säure löslich.
Phosphorsäure	0,12	"	
Kali	0,08	"	
Kalk	0,97	"	
Stickstoff (leicht verfügbar)	0,03	"	

Nur eine sehr geringe Menge Sandteile; also eine günstige Zusammensetzung, wenn schon die in so reichlicher Menge vorhandene Phosphorsäure, als in einer sehr schwer löslichen Form anwesend, betrachtet werden muss. Ich denke dabei an die durch Tacke (Mitteilungen des Vereins zur Förderung der Moorkultur, 1894, Nr. 21) konstatierte interessante Modifikation. Wäre die Zusammensetzung nicht eine so relativ günstige, die noch bis dahin erzielten Ernten würden, da seit Menschengedenken nie gedüngt wurde, unerklärlich sein. Die Wasserabfuhr ist jetzt, wenigstens im Gegensatze zu früheren Zeiten, gut geregelt; das heisst, man wird das überflüssige Wasser in befriedigender Weise los, so dass das Land heute auch im Winter nur selten unter Wasser steht, während auch im trockensten Teile des Sommers noch Wasser in den Gräben stehen blieb.

welche es nie an diesem, gerade für das Gras so wichtigem, Nährstoffe fehlen lässt, mindestens 6000 kg Heu à 30 Mark pro 500 kg, also 360 Mark Rohertrag würde geben können, demnach mehr als das fünffache an Wert, denn nur auf trockenen Böden oder solchen von ungeeigneter Zusammensetzung darf man daran zweifeln, diese normalen Ernten nach hinreichender Düngung erzielen zu können.

Durch zweckmässige Düngung mussten derartige Mehrerträge sich erzielen lassen und es war a priori nicht daran zu zweifeln, dass die grösseren Erträge die Kosten der Düngung reichlich decken würden, schon aus dem Grunde, weil man nach langen Erfahrungen Grasland nur mit stickstofffreien Stoffen zu düngen braucht, mit billiger Phosphorsäure und Kali, und diese nur einen sehr kleinen Teil des Wertes besitzen von dem Heu, welches sie produzieren helfen. 500 kg Heu enthalten etwa 8 kg Kali und 2 kg Phosphorsäure und diese kosten heutzutage in unserer Gegend zusammen reichlich 4 Mark. -- Es ist dieses nur ein siebentel oder achtel des Heuwertes, wenn dieses Heu wirklich von guter Qualität ist. Daraus folgt schon, dass jede Düngung mit Aschenbestandteilen vorteilhaft sein muss, im Falle man diese in richtiger Menge und Form giebt, so dass sie auch grösstenteils in das zu produzierende Kulturgewächs übergehen.

Weg.		Zum Überfluss lehrt auch die Erfahrung, dass Düngung von Grasland mit Kalisalzen und Phosphaten, speziell bei den heutigen niedrigen Preisen dieser Düngestoffe, sehr grosse Vorteile gewähren kann. Von dem Lande nun, welches sich in dem soeben beschriebenen Zustande befand, mieteten wir ein Stück in der Grösse von $\frac{8}{10}$ ha und bestimmten dieses zum Versuchsfeld. Das Versuchsfeld war vollkommen flach und in der Vegetation sehr gleichmässig. Nur an der Wegseite, da wo Parzelle 1 und 9 lagen, war das Land von etwas besserer Qualität.
1	9	
2	10	
3	11	
4	12	
5	13	
6	14	
7	15	
8	16	

Das Versuchsfeld wurde nun, wie nebenstehende Figur andeutet, in 16 gleich grosse Parzellen eingeteilt, von welchen jede einzelne fünf Are gross war, und im Anfang November 1887 mit den unten angegebenen Düngestoffen gedüngt. Die angegebenen Mengen sind auf die Hektare berechnet.

Parzelle	2 und 9	Thomasschlackenmehl.	Kainit.	Gebannter Kalk.
		500 kg	500 kg	— kg
„	3 „ 12	— „	500 „	— „
„	4	500 „	— „	— „
„	11	500 „	— „	600 „
„	5 „ 14	500 „	500 „	600 „
„	7 „ 16	— „	— „	600 „
„	8 „ 15	— „	500 „	600 „

Es kommen demnach alle möglichen Kombinationen von den drei gebrauchten Düngestoffen vor, welche übrigens alle in derselben Quantität angewandt wurden. Den Kalk hatte man schon einen Monat im voraus in Haufen auf das Land gesetzt und mit Rasenstücken bedeckt. Beim Ausstreuen zeigte sich, dass er sich genügend in feinen, gelöschten Kalk umgesetzt hatte.

Die Parzellen 1, 6, 10 und 13 blieben ungedüngt. Davon wurden zwei (6 und 13) ganz auf die alte Weise behandelt, d. h. nur einmal im August geschnitten, die beiden andren dagegen, ebenso wie die gedüngten Parzellen, zweimal jährlich abgemäht.

Die Düngungen mit Thomasschlackenmehl und Kainit, jedoch nicht die mit Kalk, wurden im Dezember 1888 noch einmal wiederholt.

Geerntet wurde am 9. Juli und am 19. Oktober 1888, am 12. Juni und am 6. September 1889, auf den Parzellen 6 und 13 im August und zwar in beiden Jahren zusammen nachfolgende Mengen:

Parzelle.	Düngung.	Geerntet pro ha.	Mehrertrag gegenüber der vorher üblichen Methode.	Wert.	Düngungs- kosten.	Vorteil.
6 u. 13 ungedüngt		7780	kg einmal geschnitten.			
10*)	"	7420	" zweimal geschnitten.			
7 u. 16 Kalk		7900	" 120 kg	6 Mark	10 Mark	— Mark
3 u. 12 Kainit		9350	" 1570 "	78,5 "	58 "	20,5 "
4 Phosphat		9400	" 1620 "	81 "	33,3 "	47,7 "
8 u. 15 Kainit u. Kalk		8700	" 920 "	46 "	68,3 "	— "
11 Phosphat u. Kalk		9940	" 2160 "	106 "	43,3 "	62,7 "
2 Kainit u. Phosphat		9700	" 1920 "	96 "	91,6 "	4,4 "
5 u. 14 alledrei Düngemittel		12280	" 4500 "	225 "	101,7 "	123,3 "

Was die Bedeutung dieser Resultate betrifft, so muss man schon jetzt daran denken, dass der Schwerpunkt nicht liegt in der Masse, sondern in der Qualität des Heues. Aber dieses verhindert nicht, dass wir vorläufig die Quantität beurteilen.

Das zweimalige Mähen, wohl zu verstehen, wenn man nichts thut, um die produktive Kraft des Bodens zu steigern, hat entschieden ein ungünstiges Resultat gehabt, ganz in Übereinstimmung mit dem Urteil der Landwirte, welche das einmalige Ernten auf dieser Art von Wiesenländereien als die einzig richtige Methode verteidigen. Die Sache ist sehr einfach. Im natürlichen Zustande haben sich auf diesen armen Wiesenländern Pflanzen angesiedelt, welche nur wenig Pflanzennährstoff brauchen, denn gerade diese haben unter diesen Umständen die meisten Aussichten, sich im Kampf ums Dasein zu erhalten. Das sind jedoch nicht die guten Gräser, sondern allerlei andere Pflanzen, welche sich erst spät im Frühjahr entwickeln und erst in der zweiten Hälfte des Sommers erwachsen sind und welche deshalb gerade durch eine verfrühte (auf die Gräser berechnete) Erntezeit in der Entwicklung gehemmt werden. Wer nicht düngen will oder kann und nicht fragt, was er erntet, sondern nur wieviel, wird auch, ganz abgesehen von dem im Spätsommer meist günstigeren Wetter und den doppelten Mähelöhnen, besser bei seinem alten System, bei welchem er im August erntete, bleiben. Von den Düngestoffen hat der Kalk, allein angewendet, in den ersten zwei Jahren nur den geringen Mehr-

*) Parzelle 1 u. 9 sind bei dieser Kalkulation weggelassen, da sie, als am dichtesten am Wege liegend, verhältnismässig zu hohe Resultate gegeben hatten. Dagegen waren bei den übrigen gleich behandelten Parzellen auch sehr befriedigend übereinstimmende Resultate erzielt worden.

ertrag von beinahe 500 kg Heu gegenüber den gleich behandelten nicht gedüngten Parzellen, jedoch nur einen Mehrertrag von 120 kg gegenüber denjenigen Parzellen gegeben, welche nur einmal jährlich geschnitten wurden. Kainit hat dagegen, sogar verglichen mit den letztgenannten, 1570 kg Mehrertrag, Thomasschlackmehl noch einen etwas grösseren gegeben; beide gleichzeitig angewandt gaben sogar 1920 kg Mehrertrag. Am grössten war jedoch der Mehrertrag, welcher bei Anwendung von allen drei Düngestoffen erzielt wurde, nämlich 4500 kg in beiden Jahren, während eine einseitige Kalkzufuhr zwar die Phosphatdüngung, nicht aber die Kainitdüngung vorteilhafter machte.

Ob diese Mehrerträge aber, oder welche von diesen rentabel gewesen sind, ist bei der grossen Wichtigkeit, welche die Qualität der Ernte mit in die Wagschale legt, erst festzustellen nach Beurteilung der letzteren. Eine Verbesserung der Grasarten auf den rationell gedüngten Parzellen war schon bei der botanischen Analyse des Öhmdheues in 1888 zu konstatieren. Z. B. fanden wir damals zum erstenmal das gute Gras *Phleum pratense* auf den Parzellen 2 und 9, welche beide mit Kainit und Phosphat gedüngt waren. *Trifolium pratense* wurde zur selben Zeit gesehen auf Parzelle 5, eine der beiden, welche eine vollständige Düngung erhalten hatte. *Holcus lanatus* auf Parzelle 3, mit Kainit gedüngt, gleichfalls auf Parzelle 14, welche eine volle Düngung erhalten hatte; zwar auch auf Parzelle 10, obgleich diese ungedüngt blieb, auf welcher aber die neue Maassregel des zweimaligen Erntens, welche auf die Entwicklung der Gräser einen günstigen Einfluss übt, in Anwendung gebracht wurde.

Auch noch eine andere Kleeart, *Medicago lupulina*, wurde damals auf der mit Kali und Phosphorsäure gedüngten Parzelle 9 nachgewiesen.

Wichtiger ist aber in dieser Hinsicht eine zweite botanische Untersuchung, welche im Juni 1889 ausgeführt wurde*). Auf Parzelle 2 (Düngung mit Kainit und Phosphat) wurde damals viel Rotklee gefunden, ferner *Medicago lupulina* und von Gräsern *Holcus lanatus*. Daneben war die ältere Vegetation natürlich noch nicht verschwunden, aber doch schon mehr in den Hintergrund gedrängt. Ungefähr ebenso

*) Die Beurteilung im Juni 1890 ergab (die am meisten in den Vordergrund tretenden Pflanzen sind unterstrichen):

Parzelle 5 u. 14 (vollständige Düngung).

Gute Gräser: *Anthoxanthum odoratum*.

Holcus lanatus.

Festuca rubra (auf einer der Parzellen).

Kleearten: *Trifolium pratense*.

Medicago lupulina.

Vicia spec.

Gräser von geringer } *Cynosurus cristatus*

Qualität: } *Briza media*.

Unkräuter: *Potentilla Anserina*.

wenig *Phragmites communis*

Scirpus spec. (Binse).

Galium spec.

Parzelle 6 u. 13 (ungedüngt und einmal geschnitten).

wenig *Anthox. odoratum*.

„ *Holcus lanatus*.

—

—

wenig *Medicago lupulina*.

„ *Vicia spec.*

„ *Cynosurus cristatus*.

Briza media.

Juncus spec.

Phragmites communis.

viel *Scirpus spec.*

Rhinanthus major.

hätten sich die mit allen drei Stoffen gedüngten Parzellen 5 und 14 verändert. Die übrigen (einseitig gedüngten) Parzellen zeigten weniger Veränderung, am wenigsten diejenigen, welche keine Phosphorsäure erhalten hatten.

Aus diesen Daten folgt zum deutlichsten, dass wir nicht nur zu rechnen haben mit den Mehrerträgen, sondern auch mit dem Wert dieser Mehrerträge. Denn, wenn auch die schlechten Gräser und geringwertigen Unkräuter nicht auf einmal verschwinden, so ist doch klar, dass im vorliegenden Falle wenigstens in demselben Maasse, als grössere Erträge erzielt werden, auch der Wert des Gesamtertrages der auf diese Weise behandelten Parzellen steigt.

Um dieses Faktum auf die richtige Weise in Rechnung zu bringen, würde man jeder Parzelle eine bestimmte Qualitätsnote geben können, mit welcher man dann die Quantitätsziffer zu multiplizieren hätte. Einfacher und beinahe ebenso gerecht scheint mir jedoch, die Mehrerträge in Rechnung zu bringen, als ziemlich gutes Heu, welches in Holland z. B. unter mittleren Umständen einen Wert von 25 Mark pro 500 kg repräsentiert, weil in demselben Maasse wie die Quantität sich in der Regel auch die Qualität des Grases gebessert hat. Die Zahlen, welche in obenstehender Tabelle den Wert ausdrücken, sind auf diese Weise berechnet.

Nach dieser Berechnungsweise zeigt sich, welche ansehnlichen Gewinne schon nach den beiden ersten Jahren erzielt wurden, hauptsächlich bei einer vollständigen Düngung mit allen drei Bestandteilen, aber auch in geringerem Grade in all den Fällen, in welchen das Phosphat Bestandteil der Düngung war. Auch Kainit allein giebt noch eine anständige Rente, und nur dieser mit Kalk gemischt oder Kalk allein hören sofort zu rentieren auf.

Ausserdem kommt noch in Betracht, dass die Verbesserung auf Parzelle 5 und 14 eine länger dauernde ist, hauptsächlich weil ein grosser Vorrat an Phosphorsäure, 170 kg, in den Boden gebracht worden ist und Phosphorsäure in dieser Form lange verfügbar bleibt, während eine Heuernte von 7000 kg jährlich nur 28 kg aus dem Boden zieht. Später also braucht man nur noch regelmässig mit Kainit zu düngen, während Phosphat und Kalk nur von Zeit zu Zeit auf den Boden gebracht zu werden brauchen und dann für Jahre ausreichen. Dadurch kommen die durchschnittlichen jährlichen Düngungskosten nur auf etwa 50—66 Mark zu stehen, während die grossen Ernten sich konstant einstellen, ja, durch die langsame Verbesserung des Pflanzenwuchses sich sogar noch sowohl quantitativ als qualitativ verbessern werden, bis das Maximum erreicht ist.

Durch dieses Beispiel eines praktischen Düngungsversuches sind wir also in Stand gesetzt, besser als durch die vorausgehende theoretische Erläuterung darüber zu urteilen, in welchen Fällen ein solcher anzuwenden und was aus demselben zu schliessen ist. Da die Resultate solcher Versuche wenig exakt zu sein pflegen, so kombiniert man auch wohl die von verschiedenen Jahren oder gar von verschiedenen Feldern, wobei aber die aus solchen Kombinationen*) sich ergebenden Düngeregeln

*) Wagner schreibt in seiner vortrefflichen und gekrönten Schrift: Der Düngewert etc. der Thomasschlacke, 1888, p. 24, gegen diese „summarische Methode“ und setzt den Fall, dass in zwei verschiedenen Fällen sehr verschiedene Mehrerträge erhalten worden

natürlich nur für mittlere, innerhalb der zur Kombination gebrauchten Fälle liegenden, Verhältnisse von Geltung sein können.

Neben den agrikulturchemischen und praktischen Düngungsversuchen wären in letzter Linie endlich noch die demonstrativen Versuche zu nennen, die im Gegensatz zu jenen dem Versuchsansteller nichts Neues lehren, sondern von diesem als Lehrmittel von schon Bekanntem gegenüber ungläubigen Landwirten gebraucht werden sollen. Wenn die Düngungsversuche häufig auf kleinen Parzellen, wie etwa 5 Aren, sehr vorteilhaft ausgeführt werden, so wählt man am besten zu Demonstrationsfeldern ganze Hektare, am liebsten an besuchten Landstrassen gelegen und mit in die Augen fallenden Plakaten versehen. Dieses Zweiges der Experimentierkunst haben sich die Franzosen mit besonderer Vorliebe angenommen, wie sie ja überhaupt in der Kunst des Etalierens und der Reklame alle anderen Nationen hinter sich gelassen haben*).

Im ganzen kann man also unterscheiden:

- 1) den *Vegetationsversuch*, zur Ermittlung der Nährstoffe und anderer Vegetationsbedingungen;
- 2) den *agrikulturchemischen Düngungsversuch*, hauptsächlich zur Feststellung des relativen Wertes verschiedener Verbindungsformen sowie zur Ermittlung des spezifischen Bedarfes bestimmter Gewächse;
- 3) den *praktischen Düngungsversuch*, zur Ermittlung der Rentabilität einer bestimmten Düngungsweise für lokale Verhältnisse;
- 4) den *Demonstrationsversuch*, zur Verbreitung nützlicher Düngungsweisen in den Kreisen der Interessenten.

seien, indem er sagt, dass dies mittlere Mehrertragnis für einen dritten Fall, der sich entweder dem ersten oder dem zweiten Fall nähere oder aber für ganz neue unbekannte Verhältnisse gelte, gar keinen Wert habe. Er vergisst meines Erachtens hierbei, dass dergleichen Mittelzahlen überhaupt nur einen ideellen Wert haben, die gerade so in der Wirklichkeit vielleicht nirgends vorkommen. Es verhält sich aber damit ungefähr wie mit den Bruchteilen von Individuen, denen man häufig in der Statistik begegnet und die man ebenso ad absurdum führen könnte durch den Hinweis, dass solche Bruchteile überhaupt nicht existenzfähig seien. — Offenbar ist nichts Unlogisches darin zu behaupten, dass eine gewisse Düngung für eine Summe von praktischen Fällen im Mittel einen bestimmten Ertrag gegeben habe, der nach der Kalkulation entweder rentabel oder unrentabel ist. Das Konstatieren einer solchen Mittelzahl hat offenbar einen Wert für denjenigen Landwirt, der über die Eigenschaft seines Landes nicht weiter unterrichtet ist, als dass er eben innerhalb der Sorten von Land sich befindet, auf welche die wirklich ausgeführten Versuche sich erstrecken, während er natürlich, wenn er in dieser Beziehung besser instruiert ist, sich im besondern an die Fälle halten wird, die den seinen möglichst entsprechen. Die Mittelzahl hat den Wert einer Chance, von der man wohl weiss, dass grosse Abweichungen vorkommen können, die aber, wenn sie günstig ist, zu dem Einschlagen der betreffenden Maassregel ermutigt. Von dem relativ höheren oder geringeren Werte einer solchen Zahl kann wohl die Rede sein, aber niemals von einem Verstand gegen die gesunde Logik. Auch ist der Ausdruck auf p. 28 „mit den Gesetzen der Logik in allzugrossem Widerspruche“ wenig glücklich, da es in Bezug auf wahr oder falsch schlechterdings keinen Comperativus giebt.

*) Vergl. Tisserand: Congrès international d'agriculture à la Haye, 1891. Compt. rend., p. 83.

Elfte Vorlesung.

Die Düngung vom wirtschaftlichen Standpunkte aus. — Das Düngerkapital und die wirtschaftlichen Gesetze seiner Verwendung.

Mit dem Schlusse der letzten Vorlesung ist der rein *physische Teil* unserer Aufgabe, d. h. der Teil, der sich auf die Technik des Ackerbaus bezieht, als beendet anzusehen, und damit ist zugleich gesagt, dass wir mit den Gegenständen, welche nach den herrschenden Begriffen ins Gebiet der Agrikulturchemie gehören, abgeschlossen haben. Allein wir haben schon in der Einleitung zu diesen Vorträgen hervorgehoben, dass wir uns mit diesem Abschluss nicht begnügen würden, dass wir vielmehr, um zur Beantwortung einiger der wichtigsten Fragen auf dem Gebiete des Feldbaus, welche zudem vor nicht gar langer Zeit Tagesfragen gewesen sind, die nötige Befähigung zu besitzen, noch einige Gesichtspunkte aus einer ganz anderen Disziplin berücksichtigen müssen, — aus einer Disziplin, die nach der üblichen Arbeitsteilung der Wissenschaften als den Naturwissenschaften oder gar speziell der Chemie sehr ferne stehend angesehen wird. Wir haben dies nun einzuschlagende Verfahren, welches von dem Standpunkt einer pedantischen Kastenordnung der Wissenschaften als geradezu unverzeihlich erscheinen müsste, einfach mit Zweckmässigkeitsgründen, welche wir in allen angewandten Wissenschaften als leitendes Prinzip zu betrachten haben, entschuldigt, und ich hoffe, dass die Resultate, welche wir auf diese Weise erlangen werden, bei einem jeden desgleichen diese Entschuldigung erwerben sollen.

Die wissenschaftliche Disziplin, welche wir nun um ihren Beistand ersuchen, ist die *Volkswirtschaftslehre*, und die Notwendigkeit der Berücksichtigung der von ihr geförderten Gesetze ergibt sich aus dem Umstand, dass die praktische Landwirtschaft ein Gewerbe ist, dessen Einträglichkeit eben wie die eines jeden andern Gewerbes nicht allein abhängig ist von den physischen Erfolgen irgend einer Operation, sondern in ebenso hohem Grade *von dem wirtschaftlichen Werte dieser Erfolge im Vergleich zu der Mühseligkeit und Kostspieligkeit der vorgenommenen Operation*. Wenn wir z. B. einen Fall aus der uns am nächsten liegenden landwirtschaftlichen Maassregel, der Düngung, wählen, so ist ersichtlich, dass der rein physische Erfolg einer solchen Operation, die Lieferung eines Mehrertrags, mit deren Feststellung sich sonst die Agrikulturchemie allein beschäftigt, nicht entscheidend sein kann für die wirtschaftliche Richtigkeit jener. Der Mehrertrag ist freilich eine notwendige Voraussetzung für die Rentabilität, welche ihrerseits wieder ein Maassstab ist für die wirtschaftliche Richtigkeit einer Operation, aber *nicht jeder Mehrertrag ist ein rentabler*. Hierzu ist vielmehr nötig, dass die verwendete Mühe und die Kosten in einem (nach dem üblichen Zinsfuss) genau festzustellenden Verhältnisse zu dem Preise des Mehrertrags stehen.

Verzichtet der Agrikulturchemiker auf Berücksichtigung dieser Verhältnisse, so ist es ihm niemals möglich, einen in der Praxis direkt brauchbaren Ratschlag zu geben, denn der bewirkte Mehrertrag, über den das Studium der physischen Pro-

duktionsgesetze höchstens Aufschluss geben kann, beweist an sich noch nichts für die Rentabilität der Düngung.

Die Vernachlässigung dieser so auf der Hand liegenden Verhältnisse hat in der That unsere Agrikulturchemiker in früherer Zeit zu manchem praktischen Missgriff verleitet, und wir werden bald von einer grossen Irrlehre zu berichten haben, deren hartnäckiger Bestand lediglich der einseitig naturwissenschaftlichen Beurteilung der einschlägigen Fragen, der einseitig naturwissenschaftlichen Bildung derjenigen, welche sich zu ihrer Beurteilung anschickten, zugeschrieben werden muss. Ja, diese einseitige Betrachtungsweise hat bis in die Lehrbücher der praktischen Landwirtschaft hinein ihre unheilvollen Erfolge geltend gemacht. Wird ja doch in vielen dieser Werke als Zweck der Landwirtschaft oder speziell des Pflanzenbaues bezeichnet: auf einem Grundstücke die *möglichst grosse Menge von Produkten zu erzeugen**), was offenbar grundfalsch ist, und wovon die handgreifliche Unrichtigkeit höchstens in einer intensiven und beispiellos vorteilhaften Periode der Landwirtschaft eine Zeit lang übersehen werden konnte.

Wenn wir indessen von unseren wirtschaftlichen Betrachtungen irgend einen Nutzen erhoffen wollen, so müssen wir zuerst es unternehmen, die in der Volkswirtschaftslehre in Bezug auf die Faktoren der Pflanzenproduktion üblichen Ausdrücke in die klarere naturwissenschaftliche Terminologie zu übersetzen.

Man unterscheidet in jener Wissenschaft für die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion höchstens drei streng von einander geschiedene *Produktionsfaktoren*: „Grundstücke“, „Kapital“ und „Menschenarbeit“. Z. T. ist längst erkannt, dass diese Produktionsfaktoren, z. B. der „der Grundstücke“, eine grössere Anzahl von Bedingungen des Pflanzenwuchses in sich einschliessen**); aber wir müssen diese Analyse mit grösserer Sorgfalt durchführen.

Wir haben zu diesem Zwecke einfach die von uns erkannten Vegetationsbedingungen zu rekapitulieren und zuzusehen, in welcher Weise und Gruppierung sie in diesen nationalökonomischen Produktionsfaktoren enthalten sind; denn wir wissen mit Bestimmtheit im voraus, dass es keine Produktionsfaktoren geben kann, die ausser-

*) Vergl. in dieser Beziehung namentlich die Schriften von von der Goltz, worin die Folgen dieser Vernachlässigung in ihrer Beziehung zur Unterdrückung des wichtigen Zweiges der Landwirtschaftslehre, den man als Betriebslehre bezeichnet, und in allen ihren schlimmen Konsequenzen für die praktische Landwirtschaft dargelegt werden.

**) Roscher schreibt in Bezug auf diesen Gegenstand in seinen „Grundlagen der Nationalökonomie“ § 35 folgendes:

„In Bezug auf die landwirtschaftliche Produktivität eines Grundstücks sollte man wohl dessen Tragfähigkeit, Baufähigkeit und unmittelbare Nährfähigkeit für Pflanzen unterscheiden. Die Pflanze wächst, indem sie unter dem Einflusse von Wasser und Sonne einen Teil ihrer Elemente der Atmosphäre, einen andern Teil dem Erdreich entnimmt. Während nun die Luft und die Sonne, in den meisten Klimaten auch das Wasser, vollkommen freie, unerschöpfliche Güter sind, muss der im Boden gegebene Vorrat von Pflanzennahrung an Erschöpfbarkeit und Aneignungsfähigkeit als Analogon der Kohlenlager, Erzlager u. s. w., die in bergmännischen Grundstücken vorkommen, betrachtet werden.“

In diesen Sätzen ist schon die Verschiedenartigkeit der in den „Grundstücken“ enthaltenen Vegetationsbedingungen, von welchen die Produktivität jener abhängig ist, angedeutet.

halb der physischen Vegetationsbedingungen, welche letztere wir samt und sonders kennen gelernt haben, liegen.

Die grünen phanerogamen Pflanzen, zu welchen unsere Kulturgewächse allesamt gehören, haben, wie früher ausführlich dargelegt, zu ihrem Gedeihen notwendig:

1) gewisse Stoffe, nämlich: Wasser, Kohlensäure, Stickstoff (in Form einer beschränkten Anzahl von Verbindungen), Sauerstoff und eine grössere Reihe von sogenannten Aschenbestandteilen;

2) gewisse andere Bedingungen, für die es schwieriger ist, einen geeigneten Kollektivnamen ausfindig zu machen, welche man aber doch ziemlich exakt als physikalische Bedingungen unterscheidet, z. B. eine eigentümliche mechanische Konstitution der Ackererde, wie sie zur Ausbildung der Wurzeln erforderlich ist; ausserdem eine gewisse Temperatur, die sich nur innerhalb zweier mehr oder weniger enger Grenzen auf- und abwärts bewegen darf etc.

3) Endlich bedürfen jene zur Vollendung ihrer inneren chemischen Arbeiten einer Kraftquelle, des Sonnenlichts.

Durch das gleichzeitige Vorhandensein dieser Bedingungen auf einem Grundstück erhält dasselbe erst seine Baufähigkeit.

Unsere erste Aufgabe wird nun sein, die einzeln als notwendig erkannten Bedingungen des Pflanzenwachstums darauf zu untersuchen, ob sie *freie Güter* sind, d. h. ob dieselben aus irgend einem Grunde zur Besitzergreifung durch den einzelnen Wirtschaftenden ungeeignet sind. Wir werden mit Sicherheit schliessen können, dass diejenigen Vegetationsbedingungen, welche in verhältnismässig unbegrenzter Menge zur Verfügung stehen, nicht auf den Preis der erzielten Produkte einzuwirken vermögen und darum keine Bestandteile der Produktionsfaktoren im Sinn der Volkswirtschaft sein können und zwar deshalb nicht, weil sie jederzeit im Maximum anwesend sind, also von ihrer Menge die Höhe der Produktion niemals abhängig sein kann, daher sie auch durch die Empirie gar nicht als Produktionsbedingungen erkannt werden.

Wir werden dann zu untersuchen haben, in welcher Weise sich diejenigen Bedingungen der Pflanzenproduktion, die nicht in unbegrenzter Menge zur Verfügung stehen, die also keine freien Güter sind, zu dem Produktionsfaktor „Grundstücke“ gruppieren. Schliesslich werden wir zusehen, auf welche jener Bedingungen die Menschenhand vermehrend einzuwirken vermag. Diese Vegetationsbedingungen werden dann vermuthlich auch die beiden anderen Produktionsfaktoren, „Menschenarbeit“ und „Kapital“, zusammensetzen müssen.

Man betrachtet in der Volkswirtschaftslehre die Bestandteile der Atmosphäre, die Wärme und das Licht, als freie Güter, auf deren Vorhandensein in den geeigneten Mengen die Beschaffenheit eines käuflichen Grundstücks keinen Einfluss auszuüben vermag, von denen also durch den Kaufakt nicht Besitz ergriffen werden kann. Diese Anschauungsweise ist jedoch in Bezug auf einige dieser Bestandteile und Eigenschaften unbegründet.

Streng genommen ist der *Sauerstoff* der Luft das einzige wirklich freie Gut unter der grossen Reihe von Bedingungen, die zur Pflanzenproduktion unerlässlich sind *).

*) Die *Kohlensäure*, deren die grüne Pflanze zur Produktion von organischer Substanz bedarf, ist dies freilich teilweise (soweit sie der Atmosphäre entnommen wird) auch, teil-

Das Wasser, das wir sonst im wirtschaftlichen Leben mit nur wenig Ausnahmen als ein freies Gut zu betrachten gewöhnt sind, ist kein solches als Bedingung des Gedeihens der Feldfrüchte. Das Verhalten eines Grundstücks zum Wasser — ganz abgesehen von dessen Lage in einer wasserreicheren oder wasserärmeren Gegend — z. B. die Eigenschaft, gefallenes Wasser schneller oder langsamer durchzulassen, verdunsten zu lassen etc., vermag auf dessen Wert in hohem Grade einzuwirken. Dies liegt freilich weniger daran, dass das Wasser in diesen Fällen nur in beschränkten Quantitäten zu Gebote steht, sondern ist einfach darin begründet, dass die (im Verhältnis zu einer Menge technischer Betriebe und z. B. zur Tierproduktion) doch immerhin sehr extensive Produktion von Feldfrüchten nur geringen Arbeitsaufwand zur Regulierung der auf das Pflanzenleben am günstigsten wirkenden Wassermenge erlaubt. Mithin erlangt das Verhalten eines Grundstücks zum Wasser einen positiven oder negativen Wert, weil Transportkosten des Wassers (sei es nun vom Acker weg oder auf den Acker hin) je nach der Beschaffenheit des Ackers bestritten werden müssten oder erspart werden könnten. Wie sehr dergleichen Verhalten dem Wasser gegenüber auf den Wert eines Stückes Land einzuwirken vermag, ersieht man am deutlichsten daraus, dass Meliorationskapitalien, die bloss zur Regulierung jenes Verhaltens gegen Wasser verwandt werden (Drainage, manche Bewässerungsanlagen) im stande sind, den Grundwert sehr bedeutend zu steigern.

Das Verhalten des Bodens zur *Wärme* ist nicht unähnlich dessen Verhalten zum Wasser. Die Wärme kann zwischen den Temperaturgrenzen, innerhalb deren sie in der Landwirtschaft als Fruchtbarkeitsbedingung angesehen werden muss, nicht als freies Gut aufgefasst werden, da dieselbe in allen Fällen mit dem Boden aneignungsfähig ist. Verschiedene Temperaturen sind für das Gedeihen der Pflanzen verschieden zuträglich, und diejenigen Grundstücke, welche durch ihre Lage in gewissen Klimaten und geographischen Breiten, durch Neigung gegen den Stand der Sonne, durch dunkle Farbe und infolgedessen Absorptionsfähigkeit von Wärme, oder auch durch andere physikalischen Eigenschaften jener günstigsten Temperatur näher kommen als andere, sonst gleich beschaffene, haben einen grösseren Wert als diese.

Einer etwas umfassenderen Besprechung bedarf hier allein die so wichtige Be-

weise aber in ihrer für die Pflanze zur Verfügung stehenden Menge von der Beschaffenheit des Bodens abhängig, so dass z. B. ein reichlich Kohlensäure entwickelnder Boden vielleicht lediglich durch diese Eigenschaft die Pflanzenproduktion zu steigern vermag. — Der Kohlensäure reiht sich in dieser Hinsicht aufs engste der *gebundene Stickstoff* (Ammoniak- oder salpetersaure Salze) an, der zum kleinsten Teile direkt aus der Atmosphäre in die Pflanze gelangt, teilweise mit dem Regenwasser den Weg durch den Boden macht, in seiner Ansammlung mithin von der Beschaffenheit (Absorptionsfähigkeit) des Bodens abhängig sein muss, teilweise endlich in seiner zur Verfügung stehenden Menge durch den Düngungsstand des Bodens bedingt ist. Also auch dieser Nährstoff gehört nur teilweise zu den freien Gütern und noch in weit geringerem Verhältnis als die Kohlensäure, da ein ergiebiges Wachstum unserer Kulturgewächse im allgemeinen möglich ist ohne Kohlensäuredüngung, nicht aber ohne Stickstoffdüngung. In der That ist auch der Stickstoff in Bezug auf Pflanzenernährung weit seltener als die Kohlensäure als freies Gut aufgefasst worden — eigentlich nur von Liebig, wenn er vom Stickstoff kurzweg als einem atmosphärischen Nahrungsmittel sprach, und auch von diesem nicht in konsequenter Weise.

dingung des Pflanzenwuchses, „*das Licht*“. Die leuchtenden Sonnenstrahlen sind die einzige für die Pflanzenwelt zur Verfügung stehende Kraftquelle zur Leistung der in der chlorophyllhaltigen Zelle sich vollziehenden chemischen Arbeit, die identisch ist mit der Produktion von organischer Substanz.

Es tritt dabei zunächst die Frage an uns heran, ob das Sonnenlicht, welchem die früher so ausführlich erläuterte Bedeutung für das Leben der grünen Pflanze zukommt, als ein wirtschaftlich freies Gut zu betrachten ist. Wir müssen diese Frage entschieden in dem umgekehrten Sinne, als dies früher von seiten der Volkswirtschaftslehre geschehen ist, beantworten. Es ist völlig unzulässig, Luft und Licht, als zugehörig zum freien Gut der Atmosphäre, in eine Kategorie zu werfen und selbst als freie Güter zu betrachten. Wenn wir an irgend einer Stelle der Atmosphäre eine gewisse Quantität Luft wegfangen und daselbst die nützlichen Eigenschaften derselben in Anspruch nehmen und konsumieren, z. B. den Sauerstoff zur Verbrennung verwenden, so strömt nach dem Ort des Verbrauchs sogleich (infolge der Diffusion und von Strömungen) neue Luft nach, und wenn auch jemand nur oberhalb seines eigenen Bodens Anstalten machen darf zum Konsum dieser Luft, so stehen ihm doch beliebig grosse Mengen dieses Guts zu Gebote, die ihm aus der über dem Besitztum der Nachbarn ruhenden Luftschicht (und von da weiterhin) stetig zufließen, ohne dass die Nachbarn oder alle übrigen, denen durch jenen Eingriff Luft entzogen wird, ein solches Verfahren hindern können. Diese Eigenschaft der Luft verhindert offenbar deren Verteilung an einzelne Besitzer, wie sie für den festen Grund und Boden ausführbar ist, und dies Verhalten, sowie die unerschöpfliche Menge der Luft stempelt sie zum Gemeingut, zum freien Gut.

Anders ist es mit dem Licht. Der Photograph kann nicht das Licht, das auf das Grundstück seines Nachbarn fällt, für seine Zwecke benutzen, es sei denn, dass er eine Reflexvorrichtung auf das Dach des Nachbarn anbringt, wozu er doch dessen Einwilligung, die völlige Abtretung dieses Guts bedarf; denn der Nachbar kann ja ebenfalls Photograph sein und das Licht wirtschaftlich ausnutzen wollen. Offenbar stempeln also die physikalischen Gesetze, die den Zufluss des Lichts regeln, dieses zu einem Gut von vollkommener Aneignungsfähigkeit, und es war gewiss ein Irrtum, wenn z. B. Roscher*) glaubte, dass der Photograph nicht mit Erfolg das zu seiner Arbeit notwendige Licht auf die Rechnung seiner Kunden setzen könne. Überall wo, wie z. B. in grossen Städten, das Licht nicht in so überflüssigen Mengen vorhanden ist, dass hierdurch eine Entwertung dieses Guts eintritt, wird der Preis für dessen Nutzniessung in den Produktionskosten eines photographischen Bildes enthalten sein, und nur die Geringfügigkeit des Preises des Lichts gegenüber dem der anderen photographischen Agentien verführt zur Übersehung dieser Verhältnisse.

Das Licht der Sonne ist also ein völlig aneignungsfähiger Gegenstand, und es ist auch nicht schwer, sich über die Form dieser Aneignung klar zu werden. Mit dem Grund und Boden wird offenbar auch das auf denselben fallende Licht erworben. Man erhält mit der Aneignung desselben das Recht zur Benutzung der Sonnenstrahlen, mit dem Eigentum eines Kapitals von nützlichen Stoffen zugleich eine

*) Grundlage der Nationalökonomie, p. 52.

regelmässige Rente von Kräften, und nur wer seinen auf diese Weise erworbenen Anteil an Kräften nicht ausnutzt, der verliert erst wieder dieses Besitztum — grossentheils durch Ausstrahlung in den Weltenraum.

Es geht aus dem Gesagten unzweifelhaft hervor, dass die Sonnenstrahlen, deren Anteil an der Pflanzenproduktion wir kennen gelernt haben, als ein Gut, welches mit dem zu dieser Produktion dienenden Grundstück aneignungsfähig ist, einen Bestandteil des Werts eines solchen Grundstücks ausmachen müssen oder wenigstens können.

Es ist unerlässlich, um den Einfluss dieses Agens auf den genannten Wert zu bestimmen, zunächst ein Maass für dasselbe, eine Relation zwischen der Grösse des Grundstücks und der Menge der auf dasselbe fallenden Strahlen ausfindig zu machen. — Für gleiche geographische Breite und die gleiche durchschnittliche Bewölkung des Himmels und überhaupt gleiche atmosphärische Absorption des Lichts, also jedenfalls für zwei nahe beisammen liegende Grundstücke ist das Flächenmaass der Projektion eines Grundstücks auf eine zu dem Strahl der Mittagsonne senkrechte Ebene zugleich das Maass für das demselben zu Gebote stehende Quantum von Licht oder von wirksamen Strahlen.

Für Felder in der Ebene oder von gleichartiger und gleichgrosser Neigung kann also, wenn sie nur unter einander verglichen werden, einfach das Flächenmaass des Grundstücks selbst (da hier die Projektion nur proportionale Änderungen herbeiführt) als ein solches Maass für das demselben zu Gebote stehende Licht benutzt werden, selbstverständlich wieder vorausgesetzt, dass die Grundstücke in einer und derselben Gegend liegen.

Hierin liegt nun der Grund dafür, dass das Licht, welches doch einen Bestandteil des Werts eines Grundstücks ausmacht, nicht in dem Preis desselben erkannt wird, indem dieser Bestandteil für Felder von gleicher Lage proportional mit dem gebräuchlichen Flächenmaasse, auf welches sich die Preise der Felder beziehen, in demselben enthalten ist. In den Gebirgsgegenden tritt dagegen jener Bestandteil hervor, da hier je nach Sonnenseite oder Schattenseite die Projektion verschieden grosse Werte ergibt. Freilich kommt hierbei in erster Linie die wärmende Kraft der Sonnenstrahlen mit ins Spiel, wie aus unseren Ausführungen in der fünfundzwanzigsten Vorlesung des ersten Teils zur Genüge hervorgeht*). — Man kauft,

*) Auch noch andere Betrachtungen führen uns zu dem Resultate, dass die einem Grundstück zu Gebote stehenden Mengen von Sonnenstrahlen dessen Wert und Preis mitbedingen. Ein Ackerfeld, dessen Boden auf zwei Fuss Tiefe in dem Zustand sich befindet, wie er zur Vegetation tauglich ist, wird niemals den doppelten Wert haben als ein ebensolches Feld, das jenen Zustand nur auf einen Fuss Tiefe besitzt, und wird sich in seiner Produktivität wesentlich unterscheiden von zwei Feldern in letzterem Zustand (vergl. Roscher: a. a. O., p. 58, und J. S. Mill: Principles etc., I., Ch. 12), obgleich in jenem genau dieselbe Menge von Stoffen, aus denen die Pflanze ihren Leib aufbaut, enthalten ist, und auch die Wärme- und Feuchtigkeitsverhältnisse die gleichen sind. Der enorm in die Augen springende Unterschied ist hier wesentlich bedingt durch die verschiedenen in beiden Fällen zu Gebote stehenden Mengen von Licht. — Doch ist dieses Beispiel manches Einwurfs fähig, namentlich wegen des verschieden grossen und verschieden gestalteten Raums, der in beiden Fällen den Pflanzen zur Ausbildung ihrer ober- und unterirdischen Organe zur Verfügung steht.

mit anderen Worten, in einem Grundstück nicht bloss so und so viel Centner von Pflanzennährstoffen, sondern ausserdem einen komplizierten Apparat, in welchem die regelmässige eintretende Beleuchtung eines der wesentlichsten Stücke ist.

Hiermit wäre aber nun die Aufsuchung der naturwissenschaftlich einfachen Bedingungen des Pflanzenwachstums und die Betrachtung über die Aneignungsfähigkeit der sie darstellenden Stoffe, Zustände und Kräfte als beendet anzusehen; denn dass die meisten Nährstoffe des Bodens*) und ebenso die hier nicht des näheren besprochenen physikalischen Eigenschaften desselben keine freien Güter sind, bedarf keiner besonderen Darlegung. Die Mehrzahl derselben erwies sich als mehr oder weniger vollkommen aneignungsfähig mit dem Grund und Boden. Diese bilden in ihrer Zusammengehörigkeit den nationalökonomischen Produktionsfaktor „Grundstücke“. In diesem Produktionsfaktor sind sämtliche Bedingungen des Pflanzenwachstums vorhanden, wenn auch häufig in einem ungünstigen Verhältnis. Darauf beruht die Produktionsfähigkeit eines Stückes Land ohne Zuhilfenahme eines der andern Produktionsfaktoren „Menschenarbeit“ und „Kapital“, oder strenger, ohne eine andere Arbeitsleistung als die der Occupation des spontan Gewachsenen. Die Möglichkeit einer lohnenden Anwendung dieser beiden andern Produktionsfaktoren beruht dagegen auf der Möglichkeit der Herstellung eines günstigeren Verhältnisses zwischen den einzelnen Bedingungen des Pflanzenwachstums.

An dieser Stelle haben wir zu erinnern an ein schon früher hervorgehobenes Gesetz**) der Pflanzenproduktion, welches diese jedoch mit vielen andern Produktionsarten gemeinschaftlich hat, und welches alle einzelnen Produktionsbedingungen miteinander betrifft und etwas ganz Allgemeines über deren günstiges Zusammenwirken aussagt. Dasselbe ist geeignet, die Zusammensetzung der Baufähigkeit des Bodens aus den einzelnen aneignungsfähigen Fruchtbarkeitsbedingungen noch mehr zu verhüllen.

Es giebt ein Verhältnis, in welchem die Vegetationsbedingungen mit dem grössten Erfolge zusammenwirken, d. h. die relativ grösste Menge von Pflanzensubstanz erzeugen***). Von diesem Verhältnis ausgehend vermag die einseitige Vermehrung

*) Die Aschenbestandteile sind wohl nur von ganz Unwissenden als freie Güter betrachtet worden. Vergl. z. B. Victor Jacobi: „Freiherr von Liebig u. s. w.“, Leipzig 1863, p. 60; Arnd: Justus Liebig's Agrikulturchemie etc., Frankf. 1864, p. 10, 14. Auch H. Reinsch nimmt an, dass die Aschenbestandteile in sehr grossen Mengen den Pflanzen durch die Luft zugeführt werden; doch sind seine (in anderer Hinsicht) beachtenswerten Versuche nicht einmal ausreichende Belege für die Meinung, dass die Luft erhebliche Mengen von Aschenbestandteilen enthält. Die Beweisführung für die Assimilierung dieser Bestandteile ist geradezu liederlich. Eine Ausnahme wird höchstens zu konstatieren sein in den seltenen Fällen vulkanischen Aschenregens.

**) Vergl. die neunzehnte Vorlesung, p. 306.

***)) Die Ernte ist unleugbar eine Funktion der einzelnen zu ihrem Zustandekommen notwendigen Vegetationsbedingungen; sie ist aber weder ein Produkt noch eine Summe derselben (die Möglichkeit der Formulierung jener Bedingungen in mit den Erntegewichten vergleichbaren Zahlen vorausgesetzt). Wird eine der Bedingungen gleich Null, so wird die Ernte ebenfalls gleich Null. Wächst jedoch eine einzelne jener Bedingungen allein, so wächst die Ernte im allgemeinen nicht mit. Nur wenn alle gemeinschaftlich wachsen, wächst unter allen Umständen die Ernte mit. — Aus diesen Verhältnissen ergiebt sich,

irgend einer jenen Bedingungen keinen Mehrertrag zu bewirken, sondern nur die gleichzeitige Vermehrung aller. Dieses Gesetz lässt sich auch so ausdrücken, dass man sagt: Die Produktion ist abhängig von der im Minimum^{*)} vorhandenen Produktionsbedingung, sie ist derselben proportional; wobei man dann stillschweigend die relativen Mengen jener Bedingungen, in denen sie am günstigsten zusammenwirken, als ihre resp. Einheiten bezeichnet.

Es ist dieses Produktionsgesetz ein Gesetz sehr allgemeiner Natur und im Grunde identisch mit dem Satze der Unentbehrlichkeit der einzelnen Produktionsbedingungen. Eine jede Erscheinung, die durch das Zusammenwirken mehrerer notwendigen, aber voneinander unabhängigen, Bedingungen zu stande kommt, richtet sich in ihrer Intensität oder der Häufigkeit ihres Eintritts nach der im Minimum vorhandenen Bedingung (in dem eben erläuterten Sinn). Alle Bedingungen, die zu jener im Minimum vorhandenen Bedingung in einem höheren Verhältnis als dem des günstigsten Zusammenwirkens vorhanden sind, bleiben für das Zustandekommen der resultierenden Erscheinung völlig unbenutzt.

Die mögliche Höhe der Ernten bildet die physische Basis für den Wert des Bodens. Die mögliche Höhe der Ernten ist nach dem eben entwickelten Produktionsgesetz, das wir auch in seiner verallgemeinerten Form als das „Gesetz des Minimums“ bezeichnen können, abhängig von den im geringsten Maasse vorhandenen Produktionsbedingungen, deren beliebige Vermehrung auf einem gegebenen Grundstück nicht wirtschaftlich ausführbar ist.

Wir werden also weiter zu betrachten haben, welche von den Bedingungen, *die möglicherweise im Minimum vorhanden sein können*, einer willkürlichen und wirtschaftlich ausführbaren Vermehrung durch Menschenhand fähig sind, welche nicht. *Nur die ersteren werden Bestandteile der Produktionsfaktoren „Menschenarbeit“ und „Kapital“ sein können.* Diejenigen Bedingungen des Pflanzenwuchses,

dass die einzelnen Fruchtbarkeitsbedingungen, die man auch wohl als „Produktionsfaktoren“ im naturwissenschaftlichen Sinn des Wortes bezeichnen könnte, keine Faktoren nach der Ausdrucksweise der Mathematik sind, ebensowenig wie die Ernte nach diesem Verhalten sich als eine Summe dieser Bedingungen darstellt.

*) In einem speziellen Fall, für einzelne Bedingungen des Pflanzenwachstums, wurde dieses Gesetz von Liebig hervorgehoben und seitdem als „das Gesetz des Minimums“ häufig in Anwendung gebracht. Das Liebig'sche Gesetz des Minimums berücksichtigt indessen nur einen Teil der Bedingungen des Pflanzenwachstums, die Nährstoffe; die Sonnenstrahlen werden bei Entwicklung jener Gesetzmässigkeiten als Produktionsbedingungen nicht einmal erwähnt. Der Liebig'sche Satz, dass die Entwicklung der Pflanze innerhalb gewisser Grenzen im geraden Verhältnisse zu der Masse der Nährstoffe und im umgekehrten Verhältnisse zu den ihre Wirkung hindernden Widerständen stehe, führt, abgesehen von der Einseitigkeit der auszudrückenden Thatsache, zu einer Gleichung, die bei den einfachsten mathematischen Operationen ad absurdum führt. (Die Grundsätze der Agrikulturchemie, p. 26.) — An einem Orte (Chemische Briefe, 1865, p. 508) wählt Liebig zum Ausdruck dieses Verhaltens wirklich die Form einer Gleichung:

$$E = N - W,$$

wo E den Ertrag, N die im Boden vorhandenen Nahrungsstoffe und W die Widerstände bedeuten sollen, welche die Produktion hindern.

die als freie Güter angesehen werden mussten, also vor allem der Sauerstoff, bleiben selbstverständlich, da sie keine Bestandteile der nationalökonomischen Produktionsfaktoren sind, von dieser Betrachtung ausgeschlossen.

Das Licht nimmt als Vegetationsbedingung, wie wir sogleich sehen werden, hier eine ganz eigentümliche Stellung ein, eine Stellung, deren Verkennen Veranlassung zu tiefgreifenden Irrtümern geworden ist. Das zur Pflanzenproduktion zur Verfügung stehende Sonnenlicht wird, wie wir gesehen, in einer und derselben Gegend gemessen durch das Flächenmaass des Grundstücks selbst und ist so, obschon es bei guten Boden- und Düngungsverhältnissen oft die im Minimum vorhandene Produktionsbedingung sein muss und so der Produktion durch seine beschränkte Menge eine Grenze zieht, beinahe niemals anders in den Bodenpreisen erkenntlich, als indem diese proportional mit der Fläche zu wachsen pflegen, was offenbar nicht der Fall sein könnte, wenn die Menge des zur Produktion dienenden Lichts in einem andern Verhältnis zur Bodenfläche stünde. Auch sind wir durch künstliche Mittel, also durch Anwendung von Arbeit und Kapital nicht im stande, die Menge des durch die Grundstücke gegebenen Lichts wirksam abzuändern.

Bessere Mittel stehen uns zu Gebote für die mehr oder minder vollständige Ausnutzung dieser uns stetig zufließenden, ein für allemal konstanten Menge wirksamer Strahlen, Mittel, denen namentlich darum eine hohe wirtschaftliche Bedeutung zukommt, weil diejenigen Anteile des Lichts, die wir nicht für die Pflanzenproduktion auszunutzen verstehen, entweder durch Übergang in Wärme oder gar durch Zurückstrahlung in den Weltenraum für jene chemische Arbeit in der Pflanze unwiederbringlich verloren sind. Als solche Mittel haben wir anzusehen: Dichte des Bestandes, oft nur zu erzielen durch Anbau verschiedener Früchte untereinander, Vermeidung jeglicher, auch der Winter-Brache; kurz Mittel, die sämtlich den Zweck haben, das Feld möglichst lange und vollständig mit einer assimilierenden, Licht-ausnutzenden grünen Pflanzendecke zu bekleiden.

Die übrigen mit den Grundstücken aneignungsfähigen Bedingungen des Pflanzenwuchses haben wir samt und sonders einigermaassen in der Hand, und es ist in vielen Fällen wirtschaftlich ausführbar und rentabel, dieselben zu vermehren oder abzuändern. Diese Bedingungen können deshalb Bestandteile der Produktionsfaktoren Kapital und Menschenarbeit sein, und diejenigen wirtschaftlichen Maassregeln, die den Zweck haben, dieselben in einer für die Pflanzenproduktion günstigen Richtung abzuändern, werden Düngung, Bodenbearbeitung, Melioration u. s. w. genannt.

Wir können unter diesen noch übrigen Fruchtbarkeitsbedingungen, die ein so überaus buntes Gemisch darstellen, unterscheiden zwischen zum Pflanzenwachstum *erforderlichen Stoffen* und für dasselbe *geeigneten Zuständen*.

Letztere beziehen sich auf die Temperaturverhältnisse, denen die Pflanze in und über der Ackererde ausgesetzt ist, dann auf Bodeneigenschaften, welche die Zufuhr der Nährstoffe regulieren, z. B. auf Verhalten des Bodens zum Wasser, dessen Lockerheit, Absorptionsfähigkeit etc., kurz, Verhältnisse, die man häufig in ihrer Kompliziertheit als „physikalische Beschaffenheit“ der Ackererde zusammenfasst. Diese physikalische Beschaffenheit eines Grundstückes kann zwar in mannigfacher, wenn auch nicht ganz beliebiger Weise durch die Menschenhand abgeändert werden. Es

kann durch Aufbringen dunkler Substanzen auf das Verhalten eines Bodens gegen Wärme, durch Bodenbearbeitung und geeignete Düngung auf dessen Lockerheit, durch Drainieren auf dessen Durchlässigkeit eingewirkt werden — durch Menschenarbeit also und Kapital die physikalische Beschaffenheit gebessert werden.

In gleicher Weise und durchschnittlich mit weit grösserem Erfolg ist es möglich, durch wirtschaftliche Manipulationen auf das Vorhandensein der Stoffe, welche die Pflanze im Boden voraussetzt, hinzuwirken. Der wesentliche Zweck der Düngung liegt, wie wir gesehen haben, gerade in der Zufuhr dieser Nährstoffe, und das Kapital, welches für Düngung verausgabt wird, bildet für die meisten Betriebsmethoden einen sehr ansehnlichen Bruchteil des überhaupt zur landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion verwendeten Kapitals.

Diese Bedingungen des Pflanzenwachstums stehen also in Bezug auf die wirtschaftliche Möglichkeit ihrer Abänderung im krassesten Gegensatz zu jenen Bedingungen, für deren Abänderung wir der Menschenhand keine irgendwie erhebliche Fähigkeit zugestehen konnten, zu den Sonnenstrahlen.

Die Pflanzennährstoffe und auch alle anderen Eigentümlichkeiten des Bodens, auf die wir einzuwirken vermögen, lassen sich betrachten, gleichviel, ob sie im einzelnen Fall sich als natürliche Bodenbestandteile ergeben oder ob sie nachgewiesenermaßen künstlich zugeführt worden sind, als ein *Kapital*, mittelst dessen wir die Ausbeutung der in unabänderlicher Konstanz einem Boden zufließenden Sonnenstrahlen unternehmen. Diese Verwendung des Wortes Kapital bedarf jedoch einer kurzen näheren Erläuterung.

Rein physisch betrachtet ist offenbar kein Unterschied zwischen den natürlich im Boden vorhandenen Pflanzennährstoffen und den künstlich durch Düngung hinzugebrachten. Beide verhalten sich, wenn sie in den gleichen Zustand der Auflöslichkeit übergegangen sind, in Hinsicht der Pflanzenproduktion völlig gleichwertig, und die durch den Gebrauch der nationalökonomischen Produktionsfaktoren bewirkte Trennung dieser Nährstoffe je nach dem Ursprung, wodurch sie einmal einen Bestandteil der natürlichen Bodenkraft, ein andermal des Betriebskapitals bilden, scheint der wirklichen Sachlage augenscheinlich Zwang anzuthun. Etwas Ähnliches gilt selbstverständlich für alle die physikalischen Eigenschaften des Bodens, die wir abzuändern fähig sind.

Die im Boden enthaltenen Pflanzennährstoffe, sowie die physikalischen Fruchtbarkeitsbedingungen verhalten sich ja etwa wie Rohstoffe, welche sich in einem von der Natur errichteten Fabrikgebäude vorfinden. Diese könnten nun aber unbedenklich als Kapital betrachtet werden, gleichviel ob sie durch Menschenarbeit hergestellt oder durch irgend ein Naturereignis Entstehung genommen hätten, da nicht die zufällig geleistete, sondern die zur Zeit durchschnittlich nötige Menge von Arbeit ein Wertmaass für die Güter überhaupt und so auch für die Kapitalgüter abgibt; und so sind wir berechtigt, den oben genannten Teil der durch ein Grundstück repräsentierten Fruchtbarkeitsbedingungen als ein Kapital zu betrachten, das zwar nicht seine Entstehung einer Arbeitsleistung verdankt, zu dessen Herstellung aber in ebenso zweckmässiger Vereinigung eine entsprechende Arbeitsleistung als notwendig erachtet wird.

Also der Verschmelzung der in einem Grundstücke enthaltenen Nährstoffe und nützlichen Eigenschaften mit den auf jene verwendeten Kapitalien steht von seiten der wissenschaftlichen Analyse kein Hinderungsgrund im Wege. Anders aber ist es mit dem Sonnenlichte, welches die *einzigste praktisch unveränderliche Produktionsbedingung* darstellt; und hieraus ist erklärlich, warum die ältere nationalökonomische Schule mit einem dunkeln, aber hartnäckigen Vorgefühle eine strenge Scheidung vornimmt zwischen den Faktoren Grundstücke und Kapital, während die neuere durch eine oberflächliche naturwissenschaftliche Auffassung eine Verschmelzung jener Faktoren anstrebt und dann konsequenterweise auch die Existenz einer besondern Grundrente leugnet.

Bei irgend einer Fabrikation, bei der nur Kapital und Arbeit zur Produktion notwendig sind, können je nach Bedarf die einzelnen Bedingungen zur Hervorbringung des Produkts in beliebigen Verhältnissen zusammengebracht werden. Kein Grund ist vorhanden, dass eine Verdoppelung der Produktion die Produktionskosten auf mehr als das Doppelte steigern sollte. Wenn man dagegen bei der Pflanzenproduktion auch im stande ist, alle übrigen Wachstumsbedingungen durch Zufuhr von Kapital und Arbeit ins Unbegrenzte zu steigern, so ist dies für die Sonnenstrahlen nur möglich durch Verdoppelung der bebauten Bodenfläche, d. h. jedenfalls von dem Zeitpunkte an, wo alles baufähige Land zur Pflanzenproduktion Verwendung findet, ist eine mit der Zufuhr von Kapital und Arbeit proportionale Mehrproduktion nicht mehr möglich. Hierdurch ist der Intensivierung des Feldbaues eine unüberschreitbare Grenze gesetzt, wie sie die Fabrikation im allgemeinen nicht kennt*).

So einfach die eben angestellte Betrachtung ist, so glaube ich doch bei der Wichtigkeit der resultierenden Sätze und bei der Unklarheit, die so lange hinsichtlich der Wirkungsweise der Produktionsfaktoren: äussere Natur oder Grundstücke geherrscht hat, zu einigen weiteren Ausführungen berechtigt zu sein. — Denken wir uns einmal, es seien zur Pflanzenproduktion ausser freien Gütern, deren Berücksichtigung wir überhoben sind, nur Bedingungen notwendig, die einer willkürlichen

*) Hierbei tritt freilich eine Verwischung der Grenze derart ein, dass schon in einer erheblichen Entfernung von derselben keine proportionale Änderung des Mehrertrags mehr erfolgen kann. So vermag auch auf einem reichen Lande eine Düngung noch einen Mehrertrag zu bewirken, weil z. B. hier und da doch noch eine Stelle im Boden vorhanden ist, die der Wurzel nicht die ganz ausreichende Ernährung zu bieten vermag, während die übrigen Stellen schon einen Überfluss besitzen. Daher rührt es, dass die Beschränkung der Produktion auf eine Ackerfläche, wie Mill sich ausdrückt, nicht „dem Hindernis einer entgegenstehenden Wand gleicht, welche unbeweglich an einer bestimmten Stelle steht und der Bewegung nicht eher ein Hemmnis darbietet, als bis sie dieselbe gänzlich aufhält“, sondern dass wir sie vergleichen können „mit einem elastischen und ausdehnbaren Band, das kaum je so heftig gespannt wird, dass es nicht möglicherweise noch etwas mehr gespannt werden könnte, obschon sein Druck lange vorher gefühlt wird, ehe die äusserste Grenze erreicht ist, und um so stärker gefühlt wird, je mehr man sich dieser Grenze nähert“. — Die Bemerkungen, welche Karl Marx über diesen Satz Mill's macht (siehe dessen: Das Kapital, p. 495), sind nur richtig, wenn eine Umwandlung der verwendeten Menschenarbeit in solche mit Hilfe von Maschinen statuiert wird, was beinahe einem absichtlichen Missverstehen ähnlich sieht.

Vermehrung fähig sind, es seien zu derselben also keine Sonnenstrahlen, sondern nur ein gewisser Vorrat von Pflanzennährstoffen und sonst gewisse, leicht herbeizuführende Bedingungen erforderlich. In welcher Weise würde alsdann der Boden, der eine gewisse Menge aller dieser notwendigen Bedingungen in sich vereinigt, als Produktionsfaktor auftreten?

Ein Preis würde für die Benutzung des Bodens, wie jetzt, erst dann in Anspruch genommen werden können, wenn guter Boden in vorteilhafter Lage nicht mehr in beliebiger Menge zur Verfügung steht. Erst dann, wenn es notwendig wäre, Boden von schlechterer Qualität oder in ungünstigerer Lage mit zu Hilfe zu nehmen, um den Bedarf an Pflanzenprodukten vollständig zu bestreiten, würde die Benutzung des besseren Landes einem natürlichen Monopol*) unterliegen und ein Preis für diese Benutzung gezahlt werden müssen. Man würde unter diesen (wie unter den bestehenden) Umständen also unterscheiden können zwischen einem Grundbesitzer, der notwendig eine Rente erhalten muss, wenn er den ihm gehörenden Produktionsfaktor einem andern zur Nutzniessung überlässt, einem Kapitalisten und Arbeitern, die alle drei Anspruch machen könnten auf eine Teilhaberschaft an den Feldprodukten.

Dennoch würden sich bei dieser Sachlage ganz durchgreifende Unterschiede für die Gruppierung der Produktionsfaktoren ergeben. — Der Faktor Grundstücke wäre ja unserer Annahme nach künstlich herstellbar, was er in Wirklichkeit nicht ist. Man könnte lediglich durch Ankauf einer gewissen Menge Düngestoffe und durch Herstellung gewisser anderer notwendigen Bedingungen vermittelt eines Aufwands von Kapital und Arbeit alle zur Pflanzenproduktion unentbehrlichen Erfordernisse an jedem beliebigen Orte beschaffen, Pflanzensubstanz produzieren und mit dem Besitzer des Bodens konkurrieren. Ein Preis würde dem Besitzer des Bodens auch unter diesen Umständen, wie wir gesehen haben, für dessen Benutzung gezahlt werden müssen, sobald bestes Land nicht mehr zur Verfügung steht; aber die Monopolisierung der ihm gehörenden Vegetationsbedingungen wäre nur eine scheinbare und jener Preis würde nicht — wie dies unter den wirklich herrschenden Umständen thatsächlich der Fall ist — bestimmt werden durch den zur gleichen Produktion notwendigen Mehraufwand an Kapital und Arbeit auf einem schlechtesten Stück Land, das gleichwohl zur Erzeugung des erforderlichen Ertrags noch angebaut werden müsste, sondern durch die Herstellungskosten der vom Boden repräsentierten Vegetationsbedingungen auf irgend einem Wege auch ausserhalb von Grundstücken.

Unter der gemachten Annahme also, dass sämtliche Bedingungen des Pflanzenwachstums, die der Boden in sich einschliesst, künstlich hergestellt werden könnten, würde dieser Produktionsfaktor in seiner Wirkungsweise nicht mehr unterscheidbar sein von einem Kapital, das alsdann ohne gleichzeitiges Vorhandensein des Produktionsfaktors „Grundstücke“ zur Pflanzenproduktion in Anspruch genommen werden könnte. Eine Trennung würde nur vorgenommen werden können auf Grund der verschiedenen Entstehungsweise beider Faktoren und nur in gewissem Sinne eine historische, keinerlei praktische Bedeutung haben. Der Besitzer des Bodens würde

*) Vergl. J. S. Mill: Grundsätze, 2. deutsche Ausgabe, 1864, p. 295.

in seinem Betriebe sich von dem ohne Boden produzierenden nur etwa unterscheiden, wie ein Eisenproduzent, der zugleich Besitzer von Kohlen- und Eisenstein-Bergwerken ist, von einem solchen, der die Rohmaterialien erst käuflich an sich bringen muss. Die Trennung der in beiden Fällen zur Verwendung kommenden Produktionsfaktoren in „Grundstücke“ und „Kapital“ würde in Bezug auf die nun erfolgende Produktion ohne allen Sinn sein, und ebenso würde die Aufstellung einer Bodenrente keine innere Berechtigung besitzen.

Die vorstehende Betrachtung ist deshalb wie keine andere zu der Demonstration geeignet, dass es die durch Menschenhand nicht zu vermehrende Vegetationsbedingung, die Sonnenstrahlen, sind — sie, die bisher geradezu als ein freies Gut angesehen worden sind —, die uns zwingen oder wenigstens berechtigen, einen Produktionsfaktor Grundstücke neben dem zur Pflanzenproduktion verwendeten Kapital, eine Bodenrente neben einem Kapitalzins zu unterscheiden. Nur der auseinander-gesetzten Verhältnisse halber ist die Einwilligung des Grundbesitzers zur landwirtschaftlichen Produktion durchaus notwendig, denn er ist der alleinige Inhaber einer unentbehrlichen und künstlich nicht herstellbaren Bedingung des Pflanzenwachstums.

Aber noch mehr. Auch jene Erscheinung bei der landwirtschaftlichen Produktion, die eine so grosse Rolle in der Volkswirtschaft spielt, nämlich des mit der Verwendung von Kapital und Arbeit unproportionalen und stets sich verringernden Mehrertrags, erklärt sich einfach aus dem Umstand, dass eine der notwendigen Vegetationsbedingungen in durchaus begrenzten und durch Menschenhand nicht vermehrbaren Mengen zur Verfügung steht. Würden im Boden nach der eben gemachten Annahme nur Vegetationsbedingungen enthalten sein, die auch anderweitig zu beschaffen wären, man würde, wie ohne alle Grundstücke, auf einem beliebig kleinen Stück Landes beliebig grosse Mengen und — von einem gewissen Zeitpunkt an — dem verwendeten Kapital und der Arbeit proportionale Mengen von Pflanzensubstanz erzeugen können.

Man kann deshalb sagen: eine Übervölkerung, eine Erscheinung, die bekanntlich lediglich*) durch die eben angeführte Erscheinung des unproportionalen Mehrertrags bewirkt wird, ist nur deshalb möglich, weil zur Erzeugung von Nahrungsmitteln und mancher anderen unentbehrlichen Produkte Sonnenstrahlen erforderlich sind, diese aber nur in beschränkten Mengen uns zukommen und mit um so grösserer Mühe zur Pflanzenproduktion in Anspruch genommen werden müssen, je mehr man sich der unverrückbaren Grenze des Vorhandenseins nähert**).

*) J. S. Mill: Grundsätze u. s. w., 1864, p. 140. Malthus hat bekanntlich dieses Verhältnis seiner Zeit, freilich ziemlich willkürlich, so ausgedrückt, dass er die Zunahme der Menschheit in einer geometrischen Reihe, die ihrer Subsistenzmittel in einer arithmetischen Reihe zunehmen liess.

**) Ein Verhalten, das in der That nur von Nationalökonomien der neuen Welt geleugnet werden kann, da dort der praktischen Erfahrung jene Grenze noch nicht fühlbar geworden ist. Vergl. Carey: Lehrbuch der Volkswirtschaft, deutsch von Adler, 1866, p. 17 u. ff. Einen eigentümlichen, Carey durchaus ähnlichen Standpunkt nimmt übrigens Löll in seiner Broschüre (Die Grundrente etc., 1872, p. 57) ein, indem er argumentiert, dass, weil bei Bodenüberfluss der Bodenwert lediglich in der Arbeit gesucht werden muss, nun auch noch beim Verschwinden dieses Verhältnisses das Gleiche fortbestehen müsse. — Die Arbeit ist allerdings insofern die Grundlage alles Bodenwertes, weil dieselbe auch den

Wir glauben nunmehr uns darüber klar geworden zu sein, warum die Grundstücke niemals, ohne gewissen Erscheinungen Zwang anzuthun, als Kapital, die Grundrente niemals ganz und gar als Kapitalzins aufgefasst werden kann. Jenes Dunkel, welches über das eigentümliche Verhalten jener Faktoren bei der landwirtschaftlichen Produktion waltete, konnte durch eine exakt ausgeführte Zerlegung des Produktionsfaktors Grundstücke in naturwissenschaftlich einfache Vegetationsbedingungen und eine aufmerksame Prüfung auf deren Veränderungsfähigkeit durch Menschenhand völlig beseitigt werden. Die Sonnenstrahlen, deren Menge ja gewöhnlich gemessen wird durch die Bodenfläche, sind es allein, die zur Aufstellung eines besonderen Produktionsfaktors Veranlassung gegeben haben. Zerlegt man jedoch, wie wir dies gethan, jenen Produktionsfaktor in seine einzelnen Komponenten, so zeigen alle übrigen Vegetationsbedingungen das Verhalten eines Kapitals.

Wir hoffen also durch unsere Darlegung dazu berechtigt zu sein, alle durch Menschenhand veränderlichen Bedingungen des Pflanzenwachstums als wirkliche Kapitalien zu betrachten*), gleichviel auf welche Weise sie in den Boden gelangt sind. Soweit diese Bedingungen in Pflanzennährstoffen bestehen, werden wir sie zweckmässig unter dem Namen *Düngerkapital***) zusammenfassen. Die anderen Fruchtbarkeitsbedingungen liessen sich selbstverständlich auch als ein Kapital bezeichnen; wir werden uns jedoch in den nun folgenden Betrachtungen nur mit jenem Düngerkapital beschäftigen, einmal, weil wir nur mit demselben einen klar definierbaren Begriff verbinden, nur mit ihm eine exakte Rechnung möglich ist, dann, weil gewisse unzulässige Folgerungen, die in folgendem eine Bekämpfung finden werden, sich gerade auf die Nährstoffe beziehen.

Maassstab für diesen an die Hand giebt, aber nicht die Arbeit, die auf das Grundstück thatsächlich oder durchschnittlich verwendet worden ist, sondern die Arbeit, welche man auf einem rentelosen Grundstück für die gleiche Produktion verwenden müsste. Ähnlich ist es bei jeder *Prioritätsrente* (F. A. Lange), von der die Grundrente nur ein naturwissenschaftlich klarliegender Spezialfall ist. Auch der Besitzer eines städtischen Grundstücks erhebt seine Rente auf Rechnung von Arbeit, nur nicht von Arbeit, die auf dem Bauplatz verwendet worden ist, sondern von Arbeit, die auf ungünstigen Geschäftsplätzen mehr geleistet werden muss, um den gleichen Gewinn zu erzielen. — Am schlagendsten ist Carey und Löll und die ganze z. T. durch die praktischen Fragen der Grundbesteuerung interessierte Parteigängerschaft zu widerlegen durch Aufstellung der Frage: Wenn aller Boden mühelos anzubauen gewesen, aber seine vorhandene Menge eine beschränkte wäre, würde keine Grundrente existieren? — Dass kein Verhältnis zwischen der ursprünglichen Mühewaltung und dem Bodenwert besteht, gesteht Löll selbst (a. a. O., p. 73) zu in den unvorsichtigen Worten: „Wahrlich, die vermeintliche Bodenrente ist weit entfernt, heute auch nur die Schweisstropfen zu verzinsen etc.“ — Wer zu viel beweist, beweist nichts. Für ähnliche Verwechslungen des Zufälligen mit dem Notwendigen ist die Argumentierkunst Carey's geradezu ein warnendes Exempel.

*) Man entgeht auf diese Weise auch dem sonst nicht zu beseitigenden Widerspruch, dass z. B. Meliorationskapitalien von der Zeit der Anlage an ihre Eigenschaft als Kapital einbüßen und einen Bestandteil des Bodenwerts ausmachen.

**) Auch Liebig bezeichnet die Pflanzennährstoffe als „Kapital“ (These 23. Grundsätze der Agrikulturchemie, 1855); ebenso Schumacher (Erschöpfung und Ersatz u. s. w., 1866, p. 55, 56).

Zur Ableitung der wirtschaftlichen Gesetze der Verwendung des Düngerkapitals stellen wir zunächst die in der Volkswirtschaftslehre üblichen Betrachtungen an, welche zur Erläuterung der Bedingungen der extensiveren und intensiveren Bewirtschaftungsmethoden dienen. Man unterscheidet bekanntlich die verschiedenen Wirtschaftssysteme nach dem Verhältnis des Zusammenwirkens der früher besprochenen Produktionsfaktoren. Man nennt eine *extensive Bewirtschaftungsmethode* eine solche, bei welcher der Faktor *Grundstücke in relativ grosser Menge* verwendet wird, während an den beiden anderen Faktoren gespart wird, eine *intensive* Bewirtschaftungsmethode umgekehrt eine solche, bei der man relativ viel Arbeit und Kapital verwendet, an Grundstücken jedoch möglichst wenig verschwenderisch ist.

Als extensivster Betrieb kann eine Bewirtschaftung angesehen werden, bei der keine mechanische Bearbeitung des Bodens, keine Düngung, keine eigentliche Aussaat erfolgt, wobei sich alle landwirtschaftliche Arbeit nur auf das Einsammeln des zufällig Gewachsenen beschränkt (occupatorische Wirtschaft*). So behandeln z. B. noch heute die meisten wilden Völkerschaften ihren Boden. Ein extensiverer Betrieb ist in der That undenkbar, und man hat Anstand genommen, einen solchen überhaupt als Bewirtschaftung anzusehen. Im vorliegenden Falle sind die Produktionsfaktoren, Kapital und Menschenarbeit, nahezu gleich Null. Hierin ist augenscheinlich die eine extremste Grenze für die Variationen der Produktionsfaktoren gegeben.

In diesem Falle extensivster Bewirtschaftung kann man reden von der Vertretung jener beiden ganz wegfallenden Faktoren durch die Grundstücke**). Man braucht nur zu bedenken, eine wieviel grössere Bodenfläche zur Produktion einer beliebigen Nutzpflanze in Anspruch genommen werden muss, wenn man den Boden sich völlig selbst überlässt, ihn so zugleich eine grosse Menge nicht nutzbarer Pflanzen hervorbringen lässt und nirgends die zufällig stets vorhandenen Vegetationshindernisse beseitigt.

Eine Vertretung in dieser Richtung ist möglich, weil der nationalökonomische Faktor Grundstücke grossenteils schon ähnliche Pflanzenwachstumsbedingungen in sich enthält und in sich entwickelt, als auch durch Kapital und Arbeit hinzugebracht werden. Dadurch, dass man ein Grundstück eine gewisse Zeit lang liegen lässt, werden auf dem Wege der Verwitterung Pflanzennährstoffe verfügbar, welche sonst durch Düngung hätten hinzugebracht werden müssen. Ähnlich ist es mit manchen physikalischen Eigenschaften.

Zunächst reihen sich dann an diese Methoden extensivster Bewirtschaftung diejenigen Betriebsmethoden an, wo eine seichte Bodenbearbeitung, in der Regel verbunden mit künstlicher Aussaat, beginnt, dagegen noch keine Düngung***) vorgenommen wird. Die Bebauung vieler Kolonialländer, auch grosser Teile der westlichen Vereinigten Staaten, Ungarns und Südrusslands giebt hierfür die nötigen Belege. Auch hier tritt der Produktionsfaktor Grundstücke noch in starkem Verhältnis

*) Roscher: Nationalökonomie des Ackerbaus, 1865, p. 15.

**) Freilich nicht ganz strenge, da doch immer die Arbeit des Einsammelns geleitet werden muss, und ganz allgemein, da ohne den Faktor Arbeit der Begriff Gütererzeugung wegfällt.

***) v. Haxthausen: Studien über die inneren Zustände Russlands, II, p. 155 u. f.

für Arbeit und Kapital ein; denn während man bei intensiveren Betrieben die durch den dauernden Anbau nach und nach geschwächte Bodenkraft durch Düngung und starke Bodenbearbeitung wiederherstellt, geschieht hier, wenn nötig, dasselbe ohne Aufwand solcher Kapitalien und Arbeitskräfte, durch einfaches Ruhenlassen des bebaut gewesenen Ackerlandes oder durch Liegenlassen desselben als langjähriges Weideland. — Die Zweckmässigkeit eines solchen Verfahrens erklärt sich einfach aus dem Umstand, dass in solchen Perioden die Grundrente niedrig, Kapitalzins und Arbeitslohn aber verhältnismässig teuer ist, und man besser die Rente eines Grundstücks dadurch entbehrt, dass es unbebaut bleibt, als das teure Kapital und die teure Arbeit, die notwendig wäre, um dasselbe auf einem anderen Wege zu erreichen, bezahlt oder aufwendet.

Bei weiterer *Intensivierung* der Betriebsmethoden treten nun immer mehr die beiden anderen Produktionsfaktoren in den Vordergrund, je nach den sonstigen Verhältnissen bald mehr der eine, bald mehr der andere. Immer ängstlicher spart man mit dem Faktor Grundstücke. Man geht schliesslich so weit, die Brache, die offenbar hauptsächlich eine Verschwendung dieses Faktors repräsentiert, vollständig abzuschaffen, dann selbst mehrere Ernten jährlich zu entnehmen, kurz zu den Betriebsmethoden überzugehen, die wir in unsern dichtbevölkerten Ländern ausgebildet sehen.

Für unsern Zweck müssen wir nun hauptsächlich darauf aufmerksam machen, dass die für Intensivierung des Feldbaus erfolgende stete Zunahme der Verwendung von Kapital auf Pflanzenproduktion insbesondere auch gilt für das auf Düngung verwendete Kapital. Bei den extensivsten Bewirtschaftungsarten wird keine Düngung vorgenommen. Fängt der Betrieb an, sich zu intensivieren, so wird mit der Zeit die Düngung mit natürlichen Düngern, welche bis dahin als völlig wertlose Stoffe angesehen waren, sich als rentabel erweisen, bis dann nach und nach sogar die Anwendung teurer Fabrikate und weither transportierter Materialien als Dünger möglich erscheint.

Bei der Methode, die für die extensive Bewirtschaftung am charakteristischsten ist, wo also nur ein Teil der vorhandenen Grundstücke dem Anbau, dessen Manipulation sich auf eine seichte Bodenbearbeitung und die Aussaat beschränkt, unterliegen, sind nahezu sämtliche Vegetationsbedingungen durch die Grundstücke selbst repräsentiert; nur einige physikalischen Eigenschaften des Bodens sind durch Arbeit abgeändert worden, worin die ganze Gegenleistung in jenen Perioden besteht. — Nun gelangen wir aber mit Sicherheit zu dem Schluss, dass durch einen solchen extensiven Betrieb selbst *gewisse im Boden enthaltenen Vegetationsbedingungen notwendig eine successive Änderung* erfahren müssen. Es ist eine selbstverständliche Folge dieses Betriebs, dass das Düngerkapital in dem von uns gebrauchten Sinn dem Boden stets mehr und mehr entzogen wird. Eine solche extensive Bewirtschaftung ist stets ein eigentlicher Raubbau*) im Liebig'schen Sinne des Worts.

Wenn wir nun nach den wirtschaftlichen Gründen fragen, die zu einem solchen Systeme drängen, so erfahren wir, dass es stets die relative Spärlichkeit der Be-

*) Obgleich extensive Betriebe bestehen mit ziemlich reichlicher Düngung, z. B. die der sogen. „volunteering crops“ in Nordamerika. Es beruhen dergleichen Ausnahmen von der von uns dargelegten Regel auf der für unsere Zwecke berechtigten Vernachlässigung der Begriffsverschiedenheit: Arbeits-extensiv und Kapital-extensiv.

völkerung, oder genauer, ein relativ kleines Absatzgebiet für landwirtschaftliche Erzeugnisse ist, welches die in Rede stehende Betriebsmethode mit Notwendigkeit nach sich zieht. Die nähere Begründung der wirtschaftlichen Richtigkeit jener extensiven Betriebsmethoden und des mit diesen fast stets in Verbindung stehenden Raubbaus kann jedoch erst nach weiteren Ausführungen vorgenommen werden.

Auf ein gewisses Land mit einem Produktenmarkt von gewisser Grösse fällt eine ganz bestimmte Menge auf Pflanzenproduktion wirkender Sonnenstrahlen. Wo eine extensive Bewirtschaftungsmethode herrscht, da genügt die zur Verfügung stehende Menge von Sonnenstrahlen stets, um das Mehrfache des Bedarfs an Pflanzenproduktion möglicherweise hervorzubringen. Ebenso ist in diesem Falle das im Boden vorhandene Düngerkapital mehr als genügend für den Bedarf. Dies ergibt sich aus leicht anzustellenden Betrachtungen über die Möglichkeit der Ertragssteigerung durch Mittel, die ausserhalb jener beiden Produktionsbedingungen liegen. Da nun der Wiederersatz des mit jeder Ernte ausgeführten Anteils des Düngerkapitals Kosten machen würde, Kosten, die durch den bei bereits befriedigtem Bedarf stets abnehmenden Produktenpreis nicht bezahlt werden würden, so ist offenbar kein Anlass dazu vorhanden, die auf die Ländereien fallenden Strahlen vollständiger auszunutzen. Das im Boden noch vorhandene Düngerkapital genügt mehr als vollständig, um diejenigen Mengen von Sonnenstrahlen, deren man gerade bedarf, zur Produktion von organischer Substanz zu veranlassen.

Ein grosser natürlicher Reichtum des Bodens an Düngerkapital muss ähnliche Betriebsmethoden nach sich ziehen wie die relative Beschränkung des Produktenmarkts, denn in diesem Falle wird eine Raubwirtschaft länger bestehen können. Das jahrzehntelange Fortbestehen des Raubbaus auf den neu dem Meere abgewonnenen Poldern Hollands und anderer Küstenländer ist das beste Beispiel hierfür. — Hierdurch ist allerdings im Grunde nichts Neues gesagt. Es wird nur darauf hingedeutet, dass es nicht auf irgend eine absolute Bevölkerungsmenge, die sich auf Kosten des produzierenden Bodens ernährt, und ebensowenig auf eine absolute Fruchtbarkeit ankommt, sondern lediglich auf das Verhältnis dieser beiden Grössen, welches jedoch alsdann den Grad der Extensität oder Intensität vollständig bestimmt. Ist der natürliche Bodenreichtum grösser, als zu derjenigen „Ausbeutung der Sonnenstrahlen“ erforderlich ist, die nun gerade die wirtschaftlich richtige ist, so ist eine stete Ausfuhr der in der Ernte enthaltenen Düngerbestandteile ohne Wiederersatz die Folge dieses Verhältnisses, der Raubbau das einzige rentable Ackerbausystem. Gerade so wie bei den intensiveren Betriebsmethoden Mehrerträge für eine gewisse weitere Anhäufung des Düngerkapitals durch Aufbringen einer gewissen weiteren Menge von Dünger aufhören rentabel zu sein, gerade so findet dies bei jenen extensivsten Methoden schon für die Anhäufung des Düngerkapitals durch die aller kleinste Düngung statt.

Wir sind so zu der Erkenntnis gelangt, dass es zum Zustandekommen des einen oder des anderen Wirtschaftssystems lediglich auf das Verhältnis der Fruchtbarkeit der Felder zur Bevölkerung des Landes oder strenger zu derjenigen Bevölkerung, die noch möglicherweise durch den Handel mit den landwirtschaftlichen Produkten versorgt werden kann, ankommt.

Eine kurze Überlegung genügt nun, um uns einsehen zu lassen, dass für die kulturgeschichtliche Entwicklung der Betriebsmethoden stets zwei Momente vorhanden sind, die jenes Verhältnis abzuändern bestrebt sind, und zwar meistens in einem und demselben Sinne. Dies sind: die Änderung des Bevölkerungsstandes, mithin der Grösse des Produktenmarktes, und die eben berührte notwendige Abnahme der Fruchtbarkeit der Äcker infolge aller der Betriebsmethoden, die nicht mindestens die volle Integrität des umlaufenden Düngerkapitals bewirken. Als drittes Moment würde man noch hinzufügen können: die Verbesserung der Verkehrsmittel, doch wirkt dieses, wie schon angedeutet, im selben Sinne wie das erste. Beide lassen sich zusammenfassen unter dem Gesichtspunkte: Erweiterung des Absatzgebietes.

Die Ackerfelder werden durch eine konsequente Ausraubung des ihnen inwohnenden Düngerkapitals, welche ja auch bei den schon etwas intensivieren Methoden des teilweisen Wiederersatzes (Stallmistwirtschaft bei Ausfuhr von Getreide und Vieh) stattfindet, von Jahr zu Jahr unfähiger, die zu Gebote stehenden Sonnenstrahlen der Pflanzenproduktion dienstbar zu machen, und so muss auch bei sich gleichbleibender Bevölkerung der Punkt endlich eintreten, wo das dem Boden verbliebene Düngerkapital nicht mehr fähig ist, diejenige Menge von Sonnenstrahlen, deren man zur Produktion dringend bedarf, zu derselben zu veranlassen. Unter diesen Umständen wird die Grösse der Produktion offenbar durch das nun endlich unter den Vegetationsbedingungen im Minimum vorhandene Düngerkapital bestimmt, und die ganze überschüssige Menge von Sonnenstrahlen ist für landwirtschaftliche Zwecke völlig verloren. Nun fängt natürlich die Düngung, zunächst mit natürlichen Düngern, an, in hohem Maasse rentabel zu werden. Nur geschieht dies nicht, wie bei unserer Betrachtung, plötzlich und ruckweise, sondern schon lange vorher, obwohl in geringerem Grade*). — Dies ist das eine Moment, welches unabhängig von der Grösse des Markts stets auf eine Intensivierung der landwirtschaftlichen Betriebsmethoden in gewisser Richtung hinarbeitet. Findet nun gleichzeitig eine Vermehrung der Bevölkerung statt, oder erweitert sich sonst das Absatzgebiet für landwirtschaftliche Produkte, so tritt die Rentabilität der Düngung notwendig früher ein; denn hierdurch ist die Ausnutzung einer grösseren Menge von Sonnenstrahlen erforderlich geworden.

Aus der bisherigen Betrachtung geht vorerst soviel hervor, dass Gesetze komplizierter Natur die Art der zu leistenden Düngung und deren Rentabilität beherrschen, Gesetze, gegen die man verstösst, wenn man dem Landwirt zu allen Zeiten den einfachen Wiederersatz des mit der Ernte hinweggenommenen Düngerkapitals als obersten Grundsatz empfiehlt. Einer jeden Grösse des Markts entspricht offenbar eine gewisse Sättigung des Bodens mit Düngerkapital, bei welcher die Produktion am wohlfeilsten ist, und nach der ein jeder nach praktischen Grundsätzen geleitete Betrieb (wenn auch zuweilen auf Umwegen) hinstrebt.

*) In dieser Hinsicht sind die von W. Christiani und dessen Vater durch 45 Jahre fortgesetzten Düngungsversuche höchst lehrreich; sie zeigen, wie mit jedem Jahre des dauernden Raubbaus die Rentabilität der verwendeten Düngermassen eine grössere wird. Vergl. Landw. Centralbl., 1872, I, p. 224 u. f.

Das hier dargestellte Verhältniß ist in der That nach vorgenommener Analyse so einfach, dass man bei irgend einem anderen technischen Betriebe die entwickelten Gesetzmässigkeiten als selbstverständlich anzunehmen pflegt, und nur die Kompliziertheit der Vegetationsbedingungen, die in dem nationalökonomischen Produktionsfaktor „Grundstücke“ verschmolzen erscheinen, und die wirtschaftliche Unmöglichkeit, das in einem Boden enthaltene Düngerkapital demselben plötzlich zu entziehen und einem andern einzuverleiben, waren eine Zeit lang im stande, die Sachlage bis zur Unkenntlichkeit zu maskieren.

Es ist kaum notwendig hervorzuheben, dass mit der Demonstration, dass manche Arten von Raubbau eine notwendige Wirtschaftsform für grosse Zeitperioden darstellen, nicht behauptet werden soll, dass es nicht einen unwirtschaftlichen Raubbau auf Grund der Unkenntnis der Produktionsgesetze geben kann. Nun ist es zwar unmöglich, eine allgemeine Angabe darüber zu machen, in welchen Fällen rationeller Raubbau besteht, wo ein irrationeller.* Es verdient jedoch hervorgehoben zu werden, dass kaum einzusehen ist, warum ein irrationeller Raubbau eine viel grössere Rolle*) unter den landwirtschaftlichen Fehlgriffen spielen soll, als irrationelle Intensivierung der Betriebsmethoden und unwirtschaftliche Anhäufung von Düngerkapital im Boden, da der Landwirt — mit oder ohne Probekulturen auf Versuchsfeldern — seinen Betrieb nach einer mehr oder weniger rohen Schätzung möglichst rentabel einrichten und so der Wahrscheinlichkeit nach ziemlich gleichmässig in beiden Richtungen Fehlgriffe machen wird.

Was mir aber wichtig zu betonen erscheint, und was ich an sich schon als ein lohnendes Resultat der gemachten Betrachtungen ansehe, ist die Thatsache, dass seinerzeit der grosse Feldzug gegen den nachgewiesenermaassen an vielen Orten Europas stattfindenden Raubbau mit Nichtberücksichtigung der hier erkannten Gesetzmässigkeiten angestellt worden ist, dass alle jene gewiss sehr logischen Konsequenzen auf die Voraussetzung einer Konstanz des Ausraubungssystems begründet, also mit Unkenntnis der Gesetze, welche auf die Dauer die Unmöglichkeit einer solchen Konstanz beweisen, gezogen worden sind**).

*) Es giebt allerdings eine Ursache, welche es wahrscheinlicher macht, dass von seiten der Praktiker eher ein unwirtschaftlicher Raubbau getrieben wird als eine unwirtschaftliche Anhäufung von Düngerkapital; es ist dies die Sparsamkeit und Trägheit der Wirtschaftenden. Letztere vermag in diesem Sinne zu wirken, weil der Übergang von den extensiven Betriebsmethoden zu den intensiven nach der früher verfolgten kulturgeschichtlichen Entwicklung häufiger ist als der umgekehrte Übergang. Dies hat zur Folge, dass die Prediger des strengen Wiederersatzes thatsächlich in unserem intensiv bewirtschafteten Mitteleuropa nicht so schädlich gewirkt haben, als man nach den Ausführungen im Texte glauben sollte. Aber jetzt bei der rückläufigen Preisbewegung, die vom Jahre 1879 anhebt, sind die Chancen nahezu gleich.

**) Hierin liegt also der Beweis der Unhaltbarkeit der bekannten Liebig'schen Forderung, die als der Angelpunkt seiner ganzen Lehre vom Raubbau angesehen werden darf, dass eine rationelle Düngung stets die durch die Ernte hinweggenommenen Mineralbestandteile wiederersetzen müsse (J. v. Liebig: Die Chemie in ihrer Anw. u. s. w., 1862, Einl., p. 151, T. II, p. 253). — Von Schriften, welche bei der Bekämpfung der Liebig'schen Aufstellung auf diesen Kernpunkt der Frage eingegangen sind, ist zu erwähnen: J. Konrad: Liebig's Ansichten von der Bodenerschöpfung u. s. w., Jena 1864.

Während jene Konsequenzen nur für die Voraussetzung gelten, dass das Ausraubungssystem selbst bei ansteigender Bevölkerung unbekümmert fortbestehen bleibe, haben wir ja aufs deutlichste erkannt, dass das Betriebssystem in Bezug auf die Verwendung von Düngerkapital von zwei Momenten regiert wird, von der Fruchtbarkeit der Felder und der Ausdehnung des Produktenmarkts. Nur bei Konstanz dieser beiden Grössen konnte die Betriebsintensität dieselbe bleiben. Diese einzige Bedingung, unter welcher ein System fortbestehen kann, wird nun aber offenbar durch das System der Ausraubung selbst zerstört. Infolge der Ausraubung werden die Felder stetig unfruchtbarer und daher dankbarer für die Einverleibung von Düngerkapital.

Wir haben es also mit einem scheinbaren Übel zu thun, das seine Heilung in sich selbst trägt.

Zwölfte Vorlesung.

Die Düngung vom wirtschaftlichen Standpunkte aus (Schluss). — Ziele der agrikulturchemischen Forschungen in Bezug auf die Düngerlehre.

Die Anwendung sehr einfacher wirtschaftlichen Gesetzmässigkeiten auf den Pflanzenbau und speziell auf die Düngung hat uns in der letzten Vorlesung zu einem bestimmten Resultate geführt. Wir sind durch unsere angestellten Betrachtungen zu der Einsicht gelangt, dass es nicht unter allen Umständen das wirtschaftlich Richtige sein kann, genau das dem Boden zu ersetzen, was man durch die Entnahme der Ernte demselben entzogen hat, auch nicht speziell in Bezug auf die Aschenbestandteile. Wir haben vielmehr erkannt, dass die *Sättigung des Bodens mit Düngerkapital in einer innigen Beziehung stehen muss zu der Grösse des Markts für landwirtschaftliche Produkte, dass es von dem Bedarf nach diesen abhängen muss, ob eine Verminderung, eine Vermehrung jenes Kapitals, ob ein Gleichbleiben desselben eintreten muss*, dass jede stetige Verminderung des Düngerkapitals bei gleichbleibendem Bedarf zu einer Grenze führen muss, wo eine weitere Verminderung unwirtschaftlich wird, und dass die Grenze bei ansteigender Nachfrage nach landwirtschaftlichen Produkten um so eher erreicht wird; — dass ebenso jede stetige Vermehrung des Düngerkapitals bei gleichbleibendem Bedarf zu einer Grenze führen wird, wo eine weitere Vermehrung unwirtschaftlich wird, dass diese Grenze um so eher erreicht wird, wenn der Bedarf abnimmt, um so später, wenn dieser gleichzeitig zunimmt. — Nur bei völliger Konstanz des Bedarfs würde schliesslich für eine jede Bewirtschaftung der Punkt eintreten, wo der möglichst genaue Ersatz des Entnommenen und sonst (durch Ausspülung) Verschwindenden das einzig wirtschaftlich Richtige ist.

Dieses Resultat, zu welchem uns die angestellten Betrachtungen geführt haben, erlaubt nun wichtige Schlussfolgerungen in mehrfacher Hinsicht. Einmal ist uns durch dasselbe in unverkennbar deutlicher Weise der Weg vorgezeichnet, den wir

hinsichtlich unserer Düngungsmethoden zu gehen haben; andererseits giebt es uns Aufschluss über die kulturgeschichtliche Entwicklung dieser Methoden und beruhigt uns über die Folgen einseitiger Düngungsmethoden ganzer historischen Epochen, während uns jene Folgen bei Nichtbeachtung der besprochenen Gesetzmässigkeiten unfehlbar als verderbliche erschreckt haben würden.

Es ist zunächst in Bezug auf den ersteren Punkt zu wiederholen, dass in der grossen Mannigfaltigkeit der möglichen oder existierenden Fälle der einfache Wiederersatz des Entnommenen oder zu Entnehmenden nicht schlechthin das wirtschaftlich Richtige sein kann, dass es in keiner Weise angeht, ein Düngesystem, welches für alle oder auch nur eine grosse Anzahl von Verhältnissen ein rentables ist, auf das Prinzip zu gründen, dass in der gegebenen Düngung dieselbe Menge Phosphorsäure, Kali u. s. f. enthalten sein müsse, als davon in der entsprechenden Anzahl von Ernten weggenommen wurde oder weggenommen werden soll. Bei der weiteren Ausführung dieses Gegenstandes haben wir es nur noch mit der Beibringung weiterer Belege dafür zu thun, dass die Ersatzmethode in vielen Fällen zu wirtschaftlichen Ungeheuerlichkeiten führt, während uns dann nachher die eingehendere Behandlung der möglichen Folgen des Versäumens der Ersatzleistung von der Ungefährlichkeit des sogenannten Raubbaus überzeugen wird. Es ist von einiger Wichtigkeit, beides auseinanderzuhalten, da auch trotz der üblen Folgen, die von der Unterlassung des Ersatzes erwartet werden kann, der Nachweis der Unrentabilität für die Zwecke der Privatwirtschaft genügt, und in diesem Falle es lediglich Staatssache wäre, durch eine geeignete „Düngerpolitik“ den befürchteten Missständen vorzubeugen. Die Vermengung beider Dinge hat bei einigen zu den unbilligsten Anforderungen an die einzelnen Wirtschaftenden geführt.

Dass eine Düngung, welche in möglichst günstiger Form nach dem Prinzip des Wiederersatzes gegeben wird, eine höchst unrentable Operation sein kann, ergibt sich in äusserst leichtverständlicher Weise, ebenso wie aus den Darlegungen der letzten Vorlesung, auch aus folgender einfachen Betrachtung.

Wir wissen, dass niemals eine Düngung eine Rente zu geben vermag, wenn sie nicht im stande ist, einen Mehrertrag zu bewirken; aber nicht jeder bewirkte Mehrertrag entspricht einer Rente. Zu untersuchen, wann eine Düngung eine rentable ist, heisst untersuchen, erstens, *unter welchen Umständen sie einen Mehrertrag bewirkt*, zweitens, *unter welchen Umständen dieser ein rentabler ist*. — Die erste Frage ist rein naturwissenschaftlicher, die zweite rein wirtschaftlicher Natur.

Aus dem in der letzten Vorlesung noch einmal in seiner vollen Bedeutung dargelegten Gesetze des Minimums folgt unwiderleglich, dass die einseitige Zufuhr von Düngestoffen nur dann einen Mehrertrag bewirken kann, wenn die schon im Boden vorhandenen Mengen von Düngestoffen im Minimum gegen die andern Produktionsfaktoren der Pflanzenwelt, welche der Landwirt nicht willkürlich in gleicher Weise zu vermehren vermag, vorhanden sind. Jener äusserste Fall, in welchem eine Düngung (natürlich stets unter der Voraussetzung der zweckmässigen Form dieser Düngung) nicht mehr den geringsten Mehrertrag einer ungedüngten Parzelle gegenüber zu liefern vermag, findet sich nun allerdings in den thatsächlichen Verhältnissen der praktischen Landwirtschaft selten realisiert. Es ist jedoch bekannt, dass es Länder

und Ländereien giebt, wo selbst der kostenlos zu Gebote stehende natürliche Dünger keinen Mehrertrag zu geben vermag, vom Landwirt verschmäht und in die Flüsse*) geworfen wird, wenn wir auch wissen, dass dieser für unsere Begriffe so fremdartig erscheinende Betrieb nur eine gewisse Zeit lang fortbestehen kann. Dass unter solchen Verhältnissen, wo also einer Düngung kein Mehrertrag entspricht, von der Rentabilität einer solchen nicht die Rede sein kann, ist selbstverständlich.

Aber auch für die gewöhnlichen Verhältnisse, für Bodenarten von relativ geringerem Gehalt an Düngbestandteilen gelten dieselben Gesetze, und der Landwirt erkennt sie in seiner Praxis unbewusst völlig an. Dieser letztere weiss sehr wohl, dass eine und dieselbe Düngermenge einen weit geringeren Mehrertrag erzeugen würde, wenn er dieselbe stets auf ein einziges Feld aufbringen, die übrigen Felder ungedüngt lassen wollte**), und erkennt durch seine Praxis, die vorhandene Düngermasse mehr oder weniger gleichmässig auf sein ganzes Areal zu verteilen, diesen Satz vollständig an.

Es folgt natürlich aus dieser Betrachtung, dass eine und dieselbe Menge von Düngstoffen (bei Anbau einer und derselben Frucht unter absoluter Gleichheit der Witterungsverhältnisse und des Klimas) sehr ungleiche Produktionen von Pflanzensubstanz veranlasst, dass die Höhe dieser Produktion abhängig ist von dem Düngungsstand des Feldes, von der Menge der Pflanzennährstoffe, die schon in der Ackerkrume für den Pflanzenbau zur Verfügung standen, dass diese Produktion von einer gewissen Stufe an um so geringer sein wird, je reicher der Acker schon mit Düngstoffen versehen ist.

Wir ersehen also, ohne noch auf den Preis des Mehrertrags Rücksicht zu nehmen, dass eine Düngung, mag sie auch von dem Gesichtspunkt des Wiederersatzes aus vorgenommen sein, dennoch unter gewissen Umständen überhaupt keinen Mehrertrag zu liefern vermag und dann natürlich eine höchst unrentable Operation ist, oder dass eine solche doch bei verschiedenem Düngungsstande des Ackers sehr verschiedene Mehrerträge liefern muss, woraus einfach folgt, dass der Wiederersatz an sich nicht die Rentabilität der Düngung bedingt, dass derselbe vom Standpunkt der Rentabilität aus vielmehr in vielen Fällen eine unzweckmässige Handlung sein muss, und dass in diesen Fällen vom Landwirte geradezu Opfer gefordert werden, wenn man ihm die Düngung nach dem Prinzip des Wiederersatzes zumutet.

Es bleibt nun weiter zu untersuchen, unter welchen Umständen die durch eine Düngung erzielten Mehrerträge rentable sein können. Wir werden die Frage selbstverständlich dahin zu beantworten haben, dass in diesem Falle der Preis der durch

*) Ich erinnere an die noch jetzt bestehenden Betriebsmethoden Südrusslands, Ungarns, Californiens, vieler tropischen Länder u. s. w. Aber auch bei der Bewirtschaftung frisch eingedeichter Polder sehen wir ähnliches.

**) Vergl. über diesen Punkt meinen Aufsatz: Düngungsversuche auf unfruchtbar. Heidesandboden: Journ. f. Landw., 1882, p. 138 u. bes. 144. Dass man in scheinbarer Abweichung von diesem Prinzip neben dem Kulturlande in unfruchtbaren Gegenden Wüstland unbebaut lässt, ja diesem noch Düngstoff (in der Form der Plaggenwirtschaft) entzieht, erklärt sich aus der Ersparnis an Arbeit, wenn man eine kleinere Fläche bebaut, die noch sehr weit von der Grenze des maximalen Ertrages entfernt ist.

die Düngung eine Reihe von Jahren hindurch bewirkten Mehrerträge den Preis der Düngungskosten um so viel übersteigen muss, als ein angemessener Zins und Zinseszins dieses letzteren Kapitals für so viel Jahre, als der Dünger zu seiner Wirksamkeit bedurfte, beträgt. Bei Berücksichtigung dieser Verhältnisse wird die Sachlage noch wesentlich komplizierter. Es sei nochmals hervorgehoben, dass die Rentabilität einer Düngung bedingt ist von dem Preis der landwirtschaftlichen Produkte, also von der Höhe der Bevölkerung und der Beschränkung des Produktenmarktes; zweitens von dem landesüblichen Zinsfuss und drittens von dem Düngerpreis, also soweit es sich z. B. um künstliche Dünger handelt, von ganz ausserhalb der landwirtschaftlichen Verhältnisse liegenden Produktions- und Transportkosten. *Ein und derselbe Mehrertrag* wird sehr verschieden rentabel sein können, je nachdem diese Verhältnisse verschiedene sind; er wird sich um so mehr bezahlt machen, je grösser die Nachfrage nach landwirtschaftlichen Produkten, je dichter die Bevölkerung ist, je niedriger andererseits der Zinsfuss, die Produktionskosten des verwendeten Düngers und dessen Transportkosten sind.

Wir sehen, dass mit Berücksichtigung dieser wirtschaftlichen Verhältnisse mit um so grösserer Gewissheit der Satz ausgesprochen werden muss, dass die Rentabilität einer Düngung nicht abhängig sein kann von irgend einer naturwissenschaftlichen Forderung, sei es auch die Forderung des Wiederersatzes. Wir wissen, dass eine beliebige Düngung bei ungleichem Reichtum des Bodens, aber bei Gleichheit aller übrigen Bedingungen ungleiche Mehrerträge bewirken muss, dass aber selbst gleiche Mehrerträge, hervorgebracht durch gleiche Düngungen, bei Ungleichheit der wirtschaftlichen Verhältnisse *rentabel oder unrentabel sein können**).

*) Die Lehre vom notwendigen Wiederersatz wurde später auch in etwas abweichender Weise vorgetragen, indem man nicht den Ersatz des Entnommenen, sondern des voraussichtlich durch die kommende Ernte zu Entnehmenden vorschrieb. Diese Methode liefert naturgemäss Resultate, die in ihrer praktischen Anwendung weniger grell die Unzulässigkeit jenes Postulats demonstrieren, im speziellen Falle sogar, namentlich für unsere landwirtschaftlichen Verhältnisse sehr rentabel sein können. Dieser Modus ist von Drechsler vertreten worden, der in seiner Schrift (Drechsler: Die Statik des Landbaues u. s. w., Göttingen 1869; vergl. auch Preuss. Annal. d. Landw., 1869, Wbl. Nr. 26, p. 244) zwar über die alte landwirtschaftliche Statik (welche die Wiederherstellung der Fruchtbarkeit eines Feldes auf den vor einer gewissen Anzahl von Ernten innegehabten Stand verlangt) das Todesurteil aussprach, aber doch dieses Postulat nur in der Weise modifizierte, dass er die Felder so gedüngt wissen wollte, dass sie im voraus das enthalten, was eine Ernte oder eine Reihe von Ernten voraussichtlich wegnehmen wird. Diese Art und Weise der Düngung mochte nun allerdings insofern ein Fortschritt sein, als sie das spezielle Nährstoffbedürfnis der einzelnen Feldfrüchte berücksichtigt, auf welches nach der alten Methode nur durch die Anordnung des Fruchtwechsels Rücksicht genommen wurde; aber auch in diesem Modus waren die eben entwickelten Gesetzmässigkeiten von der Regulierung der Grösse des zur Produktion dienenden Düngerkapitals durch äussere wirtschaftliche Verhältnisse noch nicht anerkannt. — Die landwirtschaftliche Statik hatte sich ursprünglich die Aufgabe gestellt, die Erschöpfung des Bodenreichtums durch die Ernteentnahme und die Wiederherstellung dieses Bodenreichtums durch Düngierzufuhr, Brache, sogenannte bereichernde Gewächse zu ermitteln und in Zahlen auszudrücken, aber immer von der Voraus-

Neben der Widerlegung der Ersatzlehre hatten wir uns eingangs dieser Vorlesung vorgenommen zu reden über die etwaigen schädlichen Folgen einseitig im Privatinteresse des Wirtschaftenden vorgenommener Düngungen und speziell des Raubbaus. Wir haben wohl schon in der vorausgehenden Vorlesung gesehen, dass nur der kurzsichtige Mensch, der sein Dasein nach einigen Jahrzehnten bemisst, geneigt ist, Konsequenzen aus der Beibehaltung der gerade herrschenden Methode zu ziehen, welche deshalb nicht zutreffen, weil die wirtschaftlichen Gesetze fort und fort thätig sind, diese Methoden (und je einseitiger sie sind, um so schneller) abzuändern.

Was schon für die Ungefährlichkeit des Raubbaues gefolgert wurde, scheint indessen durch einen Punkt, der damals, um die Frage nicht zu verwirren, ausser acht gelassen wurde, in seiner Gültigkeit wesentlich beeinträchtigt zu werden, nämlich *durch die Beschränktheit des Düngemarkts.*

Die Beschränktheit des Düngemarkts, soweit sie ihren Grund zunächst darin hat, dass wir wirtschaftlich unfähig sind, einen grösseren Teil des in einem Grundstück enthaltenen Düngerkapitals, als den in der Ernte enthaltenen, gerade umlaufenden Anteil desselben, wie dies ja für viele anderen Betriebskapitalien doch möglich ist, zu veräussern, da die Gewinnungsmethoden um das Vielfache teurer als die gewonnenen Düngestoffe selbst sein würden, scheint unsere Schlussfolgerungen allerdings nicht zu berühren, denn dieser Umstand verhindert nicht den allmählichen Übergang des Düngerkapitals in Ländereien, für die eine grössere Intensität des Anbaus am Platze ist. Es geschieht dies durch Transport von Nahrungsmitteln und Futtermitteln (wie Ölkuchen u. dergl.) aus extensiv bebauten Gegenden in intensiv bebaute, wo dann die resultierenden Düngestoffe den letzteren Gegenden verbleiben.

Es tritt aber hierzu eine andere Beschränktheit des Düngemarkts von scheinbar ernstlicheren Folgen. Ich meine *das gänzliche Verschwinden vom Markte eines*

setzung ausgehend, dass eben die Herstellung des ursprünglichen Bodenreichtums nach einer gewissen Rotation unter allen Umständen die Aufgabe des rationellen Landwirts sei. Die Statiker der älteren Schule (Thaer, Wulffen, Hlubek, Thünen, Kleemann) suchten diese Zahlen auf empirischem Wege zu ermitteln, scheiterten aber naturgemäss an dem Umstand, dass ihre Werte Aggregate sehr verschiedener Fruchtbarkeitsbedingungen, die sich gegenseitig nicht vertreten konnten, darstellten, so dass die mühsam gewonnenen Resultate nur in einzelnen Fällen (vergl. Drechsler's Beurteilung der von Kleemann ermittelten Zahlen a. a. O., p. 94; vergl. auch 13. Vorlesung, p. 194) passen konnten. Man musste unter diesen Umständen bei Berechnung der notwendigen Düngungen auf dieselben Unzulässigkeiten stossen, zu denen man auf einem ähnlichen Wege bei Berechnung von Futterrationen nach Heuwerten gelangt war. — Nachdem es jedoch später möglich wurde, die Zahlen, die in der Statik fungierten, in ihre einfachen Komponenten aufzulösen, wie dies von Birnbaum (Lehrb. der Landw., Frankfurt a. M. 1863, T. III, Betriebsl. p. 137), Schumacher (Erschöpfung und Ersatz bei dem Ackerbaue; Versuch einer Statik des Ackerbaues, Berlin 1866) und Heiden (Statik des Landbaus) versucht wurde, war eine Berechnung des Wiederersatzes, soweit brauchbare Analysen vorlagen, thatsächlich möglich; aber nun ergab sich, dass die Anwendung eines statischen Gesetzes in der Praxis zu einer manchmal sehr unrentablen Wirtschaft führte — eine Thatsache, die vorher, bei der mehr oder weniger willkürlichen Wahl der statischen Zahlen, verborgen bleiben konnte.

grossen Theils des in extensiven Perioden von den Ländereien weggenommenen Düngerkapitals, das dadurch eintritt, dass man menschliche (und in sehr extensiven Perioden auch tierische) Exkremente dem Meere zuleitete, aus welchem das Düngerkapital nicht ohne weiteres wieder gewonnen werden kann.

Man hat von seiten der Anhänger der Ersatzlehre*) mit Recht auf diesen Umstand aufmerksam gemacht, und derselbe verdient in der That eine ernsthafte Erwägung. — Wenn in den betreffenden Betriebsperioden jene Düngestoffe den bezeichneten Weg gegangen sind, so geschah dies, weil die Kosten der Ansammlung, des Transports und des Aufbringens auf den Acker sich höher stellten als der Preis der erzielten Mehrerträge. Es ist nun natürlich fehlerhaft**), ohne weiteres stillschweigend anzunehmen, dass jene Düngestoffe immer wieder zu demselben Preis zu haben sein werden, zu welchem sie zu kaufen man damals verschmähte. Sind dieselben überhaupt nicht mehr wieder zu erwerben, so ist der späteren Intensität des Betriebs eine engere Grenze gesetzt, als dies sonst der Fall wäre, und der Vorwurf, dass der Raubbau auf Kosten unserer Nachkommen geschehe, erschiene völlig gerechtfertigt.

Es kann ja keiner Frage unterworfen sein, dass bei stets ansteigender Bevölkerung Zeiten kommen werden, wo heftige Nachfrage nach mehr Düngerkapital, als dem Boden erhalten blieb, stattfinden wird. Wenn nun die Düngestoffe in einer solchen Periode nicht oder nur mit unsinnigem Kapitalaufwand zu haben sind, indem sie sich an einem Orte befinden, aus dem ein Wiedergewinn unausführbar erscheint, so tritt unfehlbar eine Verteuerung der Lebensmittel ein, die das Unglück späterer Generationen sein wird, eine Verteuerung, die bei Sparsamkeit mit jenen Stoffen offenbar zu vermeiden gewesen wäre.

Von jener Seite aber, von der auf Grund solcher Erwägungen die Pflicht des gewissenhaften Wiederersatzes, der Erhaltung der Bodenkraft, auf das leidenschaftlichste behauptet wird, ignorierte man auch hier wieder die wirtschaftliche Seite der Frage. Man nahm ohne weitere Debatte an, *dass die Erhaltung des Düngerkapitals* auf unsern Feldern durch Leistung eines vollständigen Wiederersatzes *nichts koste*, während man die Reproduktion des verschleuderten Düngerkapitals in Zeiten der Not zu den wirtschaftlichen Unmöglichkeiten rechnete. — Ich glaube nicht, dass wir im stande sind, die Kosten der beiden Verfahren auch nur annähernd gegeneinander abzuwägen. Hierzu gehören neben andern Dingen genaue Erfahrungen über die mögliche Ausdehnung der Fischguanofabrikation und der Benutzung anderer dem Weltmeere entstammenden Düngestoffe. Dagegen gelingt es mit Berücksichtigung eines bei der bisherigen Behandlung dieser Frage gänzlich vernachlässigten wirtschaftlichen Gesetzes ein bestimmtes und entscheidendes Urteil abzugeben.

Wenn ein Landwirt, welcher der Natur der von ihm erzielten Produkte nach zu der Ausfuhr eines Theils seines Düngerkapitals gezwungen ist, und für den es privatwirtschaftlich ein Missgriff ist, das ausgeführte Düngerkapital in irgend welcher

*) v. Liebig: Die Chemie in ihrer Anw. u. s. w., 1862; Einl. i. d. Naturges. u. s. w.

**) Dieser Einwurf liesse sich denjenigen Gegnern der Liebig'schen Folgerungen machen, welche wie E. Wolff und von Babo (vergl. Jahresber. f. Agrik.-Chem., 1858—59, p. 236) hauptsächlich betonten, dass ausgeraubte Felder durch Düngung wieder fruchtbar gemacht werden können.

Form wieder zu kaufen, sich dennoch entschliesst, jenen Wiederersatz zu leisten, so bringt er damit *ein gewisses jährliches Opfer*. Diese Thatsache ist für die gemachte Voraussetzung natürlich unanfechtbar.

Es ist also nicht schwer einzusehen, dass die Erhaltung des Düngerkapitals für einen Acker oder ein gänzes Land, für welches die natürliche Tendenz der Fortwanderung dieses Kapitals besteht, nicht kostenlos geschehen kann, dass Vorkehrungen, die jene Erhaltung bezwecken, notwendig zur Folge haben, dass mit verhältnismässig grösserem Aufwand verhältnismässig weniger produziert wird, d. h. also teurer produziert wird, dass jene also mit Verteuerung der Lebensmittel, mit ähnlichen Übelständen für die Gegenwart verbunden sein würde, wie man sie für die Zukunft eben durch diese Maassregeln verhüten wollte. Offenbar kann also nur die gewisse Voraussicht, dass die für die Zukunft zu vermeidenden Kalamitäten schlimmerer Natur sein würden als die freiwillig von der gerade lebenden Generation zu übernehmenden, diese vernünftigerweise dazu vermögen, das geforderte Opfer zu tragen.

Bei der Beurteilung, ob ein Kapitalaufwand in einer gewissen Zeit überwogen wird von den dadurch bewirkten Ersparnissen in einer ganz anderen, vielleicht sehr ferne liegenden Zeit, ist jedoch vor allem etwas zu berücksichtigen, was bisher ganz ausser acht gelassen worden ist. Ich meine die den Kapitalien innewohnende Fähigkeit, bei produktiver Verwendung neue Kapitalien zu erzeugen, oder schärfer, Arbeit zu ersparen — ein Gesetz, dessen Wirksamkeit bekanntlich an dem Gebrauch, Zinsen für ein geliehenes Kapital zu zahlen, zu erkennen ist.

Aus diesem Gesetze ergibt sich, wie jedermann weiss, die Thatsache, dass das Opfer eines gewissen Kapitals in einer früheren Zeit nicht ausgeglichen wird durch den Gewinn eines gleichen Kapitals in einer späteren Zukunft, sondern das geopfert Kapital muss mit Zins und Zinseszins durch den späteren Gewinn wiedererhalten werden*). Handelt es sich um grosse Zeitintervalle, Hunderte und gar Tausende von Jahren, so wird der Unterschied, der zwischen beiden Kapitalien bestehen muss, damit nicht das Opfer des ursprünglichen Kapitals eine verfehlte Spekulation war, sehr gross sein. Auch bei einem ziemlich niedrigen Zinsfuss wird nach 100 Jahren das 50fache, nach 1000 Jahren etwa das 107,000-Billionenfache des ursprünglichen Opfers erspart werden müssen, um das Darbringen desselben nicht als einen wirtschaftlichen Fehlgriff erscheinen zu lassen. Dieselbe Ursache also, die z. B. bewirkt, dass es rentabler ist, ein Haus für ein gewisses Kapital so herzustellen, dass es 20 Jahre aushält, dann aber abgebrochen werden muss, als ein ebenso zweckdienliches Haus für das doppelte Kapital so herzustellen, dass es 100 oder auch 200 Jahre aushält, wirkt hier noch in viel bedeutenderem Grade.

Diese Gesetzmässigkeiten müssen nun selbstredend zu Rate gezogen werden, wenn wir ein Kapitalopfer zu irgend einer Zeit mit der durch dasselbe in einer späten Zukunft bewirkten Ersparnis vergleichen. Es kann also in Anwendung auf

*) Dabei ist noch zu berücksichtigen, dass die Produktivkraft von Kapitalien auf wirtschaftlich niederen Stufen des Kulturlebens eine relativ sehr hohe ist, und dass der Zinsfuss jene nur insofern anzeigt, als die Höhe desselben eine von der natürlichen Produktivkraft eingeschlossene Grösse ist.

den vorliegenden Fall gesagt werden: das Kapital, welches durch die möglichst wohlfeile Produktion gegenüber der Produktion bei völligem Wiederersatz gespart werden kann, ist im stande, durch die natürliche Produktivkraft der Kapitalien in späterer Zeit eine ungeheuer viel grössere Wirkung hervorzubringen. Man wird sich zu einer Verwendung dieses Kapitals nur dann entschliessen können, wenn man die sichere Voraussicht hat, dass die einstige Ersparnis in einem solch ungeheuerlichen Verhältnis zu dem verwendeten Kapitale steht.

Aus diesen Erwägungen geht unzweifelhaft hervor, dass, wenn nicht nachgewiesenermaassen der Wiedergewinn des dem Meere einverleibten Düngerkapitals (zu dem uns in grossem Maassstabe erst sehr ferne Zeiten zwingen würden) in eben dem oder einem höhern Kapitalopfer besteht, als die Kapitalien, die durch möglichst rentable Kulturen diese ganze Zeit über erspart werden können, samt Zins und Zinseszins für das ganze Zeitintervall betragen, es ein wirtschaftlicher Fehlgriff ist, jene humane Sorge für spätere Geschlechter in der empfohlenen Weise ins Werk zu setzen; und diese Schlussfolgerung bleibt richtig auch bei weiterem starken Fallen des natürlichen Zinsfusses, wie wir dasselbe in den folgenden Jahrhunderten voraussichtlich zu erwarten haben.

Ich glaube, dass niemand bei den in vielen Fällen ausserordentlich grossen Zeiträumen, um die es sich hier handelt, und bei der jetzt schon möglichen und nachgewiesenermaassen häufig rentablen Anwendung von Fischguano die Befürchtung aufrecht erhalten wird, dass der Wiedergewinn des verlorenen Düngerkapitals so ganz unfasslich schwierig sein wird. Dies zugegeben, werden die Nationen in weit vorteilhafterer Weise für die späteren Generationen Sorge tragen, wenn die möglichen Ersparnisse auf irgend eine Art als Produktivkapitalien angelegt werden, dass sie durch reiche und stete Produktion das Nationalvermögen vergrössern, in welcher Weise ausgestattet eine Nation am sichersten dem Sturme schlimmer Zeiten entgegengehen wird*).

Hierbei wurden nun die äussersten möglicherweise eintretenden Eventualitäten berücksichtigt und für diese gezeigt, einen welch hohen Einsatz man mit dem Postulat des völligen Wiederersatzes der Düngerbestandteile für einen wie kleinen und mit geringer Wahrscheinlichkeit eintreffenden Gewinn verlangt. Hierbei wurde aber noch gar nicht berücksichtigt, dass die Voraussetzungen, für die wir den Erweis der Unwirtschaftlichkeit des Wiederersatzes beigebracht haben, nach menschlicher Einsicht wohl niemals zutreffen möchten. Es wurde stillschweigend die Vorraussetzung gemacht, dass die ganze, jetzt noch für beinahe jede herrschende Betriebsmethode hinreichend mit Düngerkapital versehene Erdoberfläche keine Ausfuhr an Düngestoffen

*) Auch die häufig und besonders von Liebig betonte Behauptung, dass ausgeraubte Ländereien auch durch reichliche Düngung nicht wieder rasch tragend gemacht werden könnten, wird keineswegs von der Praxis allgemeiner bestätigt. Vergl. in dieser Beziehung die interessanten Versuchsergebnisse von W. Christiani und dessen Vater: Landw. Centralbl., 1872, I, p. 224, besonders 330; ferner Varrentrapp: Fühling's landw. Zeit., 1873, p. 918. Wohl kann ein steifer Thonboden durch das Fehlen der Düngung auch physikalisch so sehr verschlechtert werden, dass später ausser der direkten Düngung auch noch Meliorationen gemacht werden müssen. Allein dies ist bis jetzt der einzige hierhergehörige Fall.

mehr verträge, dass ferner ein Teil derselben dringend der Zufuhr an solchen bedürfe; denn sonst könnte offenbar ein kostenloser Transport des Düngerkapitals (z. B. in Form von Nahrungsmitteln) von dem extensiver bewirtschafteten Ort nach dem intensiver bewirtschafteten stattfinden. Man bedenke den Grad der Bevölkerung, den diese Voraussetzung einschliesst. Man bedenke die Grösse der festen Erdoberfläche und die Kleinheit desjenigen Teils, der einem beträchtlichen Raubbau unterworfen ist. —

Wir sind jedoch hiermit noch nicht zu Ende; wir müssen noch näher auf die Stoffe eingehen, die durch den sogenannten Raubbau eine gefährliche Verminderung erleiden können. Es sind dies für die meisten Bodenarten bekanntlich der gebundene Stickstoff, das Kali und die Phosphorsäure. Für alle übrigen kann an ernstliche Schwierigkeiten infolge der Ausraubung gar nicht gedacht werden.

Der gebundene *Stickstoff* ist einer Vermehrung durch die Natur und die Kunst fähig, und es ist kein Zweifel, dass wir durch geeignete Kulturmethoden (Anbau von Lupinen, Kleearten und anderen stickstoffsammelnden Leguminosen) im stande sind, ohne Zukauf von Düngemitteln unsere Ackererde an diesem Stoffe zu bereichern*). Der Stickstoff kann daher bei unserer Betrachtung vernachlässigt werden, und für denselben ist auch eine gefahrdrohende Verminderung durch Raubbau nicht behauptet worden.

Für das *Kali* brauchen wir noch viel weniger Befürchtung zu hegen. Der Raubbau in Bezug auf diesen Nährstoff ist gering, da die Aschenbestandteile der kalireichsten Kulturgewächse (Zuckerrüben, Futtergewächse) grossenteils wieder in den Boden zurückgelangen. Ausserdem ist der Kalireichtum unserer Böden durchschnittlich so bedeutend, dass selbst da, wo, wie bei Rübenbau, starke Kaliausfuhr besteht, dennoch eine Düngung mit den so billigen Stassfurter Salzen nicht immer, zumal in grösseren Entfernungen von Stassfurt, rentabel ist. Da wir nun einen grossen Reichtum auf der Erdoberfläche an Kali in Form von Salzlagern und einen noch grösseren in der Form von Felsarten besitzen, so ist für diesen Stoff nicht die allergeringste Begründung zu der Befürchtung vorhanden, dass einst durch die Verschleppung eines Teils derselben ins Weltmeer ernstliche Missstände für die Zukunft zu erwarten seien.

Am gefährlichsten erscheint die Raubwirtschaft für die *Phosphorsäure*, und wenn man die schlimmen Folgen dieser Wirtschaft ins rechte Licht setzen wollte, so bezogen sich die Betrachtungen stets vorzugsweise auf diesen Pflanzennährstoff**), und Liebig liess, um seine Schilderung recht eindringlich zu machen, z. B. das Maass des deutschen Soldaten ab-, das des englischen zunehmen, weil — so lange Jahre durch Knochenmehl aus Deutschland nach England ausgeführt worden war, während in Wahrheit etwaige Herabsetzung dieses Maasses doch eher dem grösseren Bedarf an Soldaten in dem ersteren Lande zugeschrieben werden muss. Phosphorsäure tritt in ziemlich hohen Verhältnissen als notwendige Bedingung des Pflanzen-

*) Vergl. die 13. u. 14. Vorlesung des ersten Teils dieses Werkes.

**) Vergl. v. Liebig: Die Chemie in ihrer Anwendung u. s. w., 1862, Eintlg., p. 117, p. 130 u. T. II, p. 287.

wachstums auf; sie ist, wenn auch überall, doch nur sehr sparsam in der Ackerkrume vorhanden. Für sie muss der Raubbau also zunächst fühlbar werden. Die so allgemeine Rentabilität der Superphosphat- und ähnlich zusammengesetzter Düngungen für unsere Verhältnisse beweist, dass in Bezug auf Phosphorsäure wir in dem kultiviertesten Teile von Europa auf dem Punkte angekommen sind, wo der strenge Wiederersatz — noch öfter eine Bereicherung — dringend geboten erscheint. Aber auch für diesen Stoff sind viel reichhaltigere Quellen, als man anfangs vermuten konnte, für den Ackerbau erschlossen worden, so dass trotz dem Versiegen der Quellen für Peruguano der Handelspreis der Phosphorsäure gefallen ist. Gerade dass man zu Mineralphosphatdüngungen schreitet, noch ehe man den phosphorsäurereichen Menschendünger vollständig verwertet, dies beweist, wie leicht jene Quellen nutzbar gemacht werden können. Auch für diesen Stoff wird eine neue Bereicherung der Ackererde noch möglich sein, wenn einst die Verhältnisse mehr als den blossen Wiederersatz erheischen. Eine allgemein sich vergrößernde Nachfrage nach landwirtschaftlichen Produkten würde zunächst ein vollkommeneres Aufsammlungssystem unserer menschlichen Auswurfstoffe nach sich ziehen, dann uns lehren, die phosphorreichen Produkte des Meeres in höherem Maasse für die Landwirtschaft zu verwenden, wenn auch alle übrigen phosphorreichen Materialien verbraucht sein sollten.

So sehen wir das einst so fürchterliche Gespenst des Raubbaues*) in sein Nichts zusammensinken, wenn wir nur wagen, ihm fest ins Angesicht zu blicken. Jene Konsequenzen sind gezogen worden ohne Kenntniss der wirtschaftlichen Gesetze der landwirtschaftlichen Produktion, mit Übertreibung der thatsächlichen Verhältnisse und unter Voraussetzungen, die in Wirklichkeit nicht statthaben oder nicht dauernd statthaben können.

Das erlangte Resultat befähigt uns aber noch zu einigen weiteren Folgerungen in Bezug auf wichtige Tagesfragen, die, obwohl sie sich bei konsequenter Anwendung der geltend gemachten Prinzipien ganz von selbst ergeben, einer besonderen Betonung immerhin wert erscheinen. So hat man früher z. B. vielfach Gelegenheit genommen, wegen der unvollständigen Ausnutzung menschlicher Düngestoffe viele unserer städtischen Latrinsysteme als verderblich zu bezeichnen und uns eine Düngewirtschaft nach chinesischem und japanischem Muster anzuempfehlen. Bei Ventilation der Fragen, ob Kanalisation oder Abfuhr für diese oder jene Stadt einzuführen sei, wurde vor allem neben Gesundheitsrücksichten stets die landwirtschaftliche Seite der Frage in den Vordergrund gestellt und ängstlich darauf Rücksicht genommen, ob bei dem einzuführenden Systeme Stoffe für die Landwirtschaft verloren gehen oder nicht**).

*) Diejenigen Länder, in welchen früher eine intensive Kultur geherrscht hat und welche wir nun zu erstaunlicher Unfruchtbarkeit verdammt sehen, sind dies (nachweislich oder wahrscheinlich) nur, weil eine andere Vegetationsbedingung, das Wasser, aus denselben infolge des Verfalls von Wasserleitungen und des unvorsichtigen Niederschlagens der Wälder verschwunden ist; vergl. Conrad: Liebig's Ans. v. d. Bodenerschöpfung u. s. w., 1864. Ganz frei von jener Furcht hat sich auch erhalten J. M. von Bemmelen (siehe dessen Roofbouw in Nederland: Volksvlijt, 1864, Januarheft), dessen Schrift leider ausserhalb Holland wenig bekannt geworden zu sein scheint.

**) Vergl. z. B. Heiden: Lehrbuch der Düngerlehre, T. II, p. 193 u. 197. — Auch

In der That verhält sich aber die Sache wie folgt. Wenn der Landwirt an vielen Orten den menschlichen Dünger verloren giebt, d. h. also so geringe Summen für denselben bietet, dass der Stadtbewohner für diese Summen nicht zu der Unbequemlichkeit (die ja doch ein negatives wirtschaftliches Gut ist) sich entschliesst, welche die Aufbewahrung der Exkremente für die Landwirtschaft unter vielen Umständen (man denke an die früher gemachten Angaben über Tonnensysteme) mit sich bringt, so tritt an einem solchen Ort Kanalisation oder sonst ein System ein, bei welchem jene Stoffe für die Landwirtschaft grossenteils verloren gehen. An Orten dagegen, wo eine sehr intensive Kultur, z. B. Tabaksbau oder Gartenbau, herrscht oder wo Moorkulturen, bei welchen der Stalldünger schwierig zu verwerten ist, bestehen, wird auf der anderen Seite der menschliche Dünger von den Landwirten so hoch bezahlt, dass der Stadtbewohner mit Freuden die Unbequemlichkeit der Aufbewahrung auf sich nimmt; unter diesen Umständen kommen die menschlichen Exkremente der Landwirtschaft zu gute — einfach deshalb, weil die Düngung mit denselben rentabel ist*).

Selbstverständlich ist es dann ein wirtschaftlicher Missgriff, wenn man Stoffen, die wie sehr verdünnte Exkremente allerdings ein gewisses Düngerkapital in sich bergen, aber in der Regel bei ihrem Transport auf den Acker eine weit grössere Güterzerstörung verursachen, als sie neue Güter hervorzubringen fähig sind, wenn man solchen Stoffen um jeden Preis die Rückkehr auf die Felder, denen sie ursprünglich allerdings entnommen sind, ermöglichen will**).

in Lehmann hatte dieser einseitige Standpunkt einen warmen Vertreter gefunden; vergl. Landw. Centralbl., 1870, I, p. 400. — Fast immer wurde die Gewinnung der menschlichen Auswurfstoffe für die Landwirtschaft *als eine Art Pflicht* hingestellt, während die Vorteile einer solchen Gewinnung doch (abgesehen von deren gesundheitlichen Vorzügen) lediglich in der voraussichtlich grösseren Billigkeit der Systeme liegen, bei welchen es möglich ist, einen Teil der Abfuhrkosten durch Verkauf der Auswurfstoffe zu decken. — Erst später begann eine naturgemässe Auffassung mehr und mehr um sich zu greifen. Pettenkofer gestand, dass er früher den eindringlichen Mahnungen Liebig's gegenüber geglaubt habe, die heilige Pflicht zu haben, Systeme zu empfehlen, welche die landwirtschaftliche Ausbeute der menschlichen Exkremente ermöglichten, dass er nun aber die Voraussetzung als falsch befunden habe, dass die Landwirte grosse Anstrengungen machen würden, sich derselben zu bemächtigen, und dass er in seinen Vorschlägen nur noch von Gesundheits- und pekuniären Rücksichten sich leiten liesse; vergl. Pettenkofer's Gutachten über Kanalisation der Stadt Frankfurt (Zeitschr. f. Biolog., 1870, p. 567). Erst später wurde dieser Standpunkt der herrschende.

*) Dies Verhalten ist z. B. deutlich nachgewiesen in der Umgegend von Mannheim vor und nach der bedeutenden Ausdehnung des Tabakbaues, desgleichen in Flandern und in den Groninger Moorkolonien.

**) Die klassischen Länder der Ersatztheorie, China und Japan, sind zu einer allgemeinen Anwendung der Fäkalien genötigt, einfach deshalb, weil der Grad der Bevölkerung dieser Länder und ganz besonders ihre naturwissenschaftliche Unwissenheit, die es unmöglich macht, Surrogate für die natürlichen Dungstoffe aufzufinden, zu der absoluten Erhaltung des in den Äckern vorhandenen Düngerkapitals drängt.

Nach den vorangehenden Erläuterungen dieser und der vorigen Vorlesung, bei welchen wir aus dem Gebiet der Wirtschaftslehre unseren früheren naturwissenschaftlichen Betrachtungen dasjenige hinzugefügt haben, was wir zu einem vollständigen Ausbau der Düngerlehre bedürfen, erübrigt uns nur noch die mögliche Anwendung der erlangten Ergebnisse in Bezug auf eine zweckmässige und rentable Pflanzenernährung zu machen. Zunächst konstatieren wir nochmals die Ablehnung der sogenannten Ersatzlehre. Die Beweisstücke für diese Schlussfolgerung sind in dem soeben Besprochenen mit so grosser Vollständigkeit, als es die Wichtigkeit eines allgemeinen Grundsatzes in diesen Dingen erheischt, gegeben worden.

Um nochmals deutlich zu machen, warum der sogenannte Bedarf einer bestimmten Kulturpflanze an Pflanzennährstoffen, gemessen durch die Menge, welche von diesen Stoffen in der zu erwartenden Ernte anwesend sein wird, nicht identisch sein kann mit dem wirklichen Bedarf, wie dieser sich in der Praxis ermitteln lässt, liegt gegenwärtig am meisten auf der Hand zu weisen auf die ganz eigentümliche Stellung, welche die schmetterlingsblütigen Gewächse in der Düngerlehre einnehmen und welche, wie wir wissen, darauf beruht, dass diese Pflanzen durch Symbiose mit Wurzelbacillen darauf eingerichtet sind, den freien Stickstoff der Atmosphäre zu wertvollen Eiweissstoffen zu verarbeiten. So liefert eine reichliche Rotkleeernte (mit 6000 kg Heu und 375 kg Samen pro Hektar) 130 kg Stickstoff, und nach der alten Ersatzlehre würde man also gezwungen sein anzunehmen, dass der Klee besonders dankbar für eine Stickstoffdüngung sein müsste. Dieses ist jedoch, wie wir wissen, nicht der Fall. Man braucht den Klee gar nicht mit Stickstoff zu düngen und kann trotzdem, wenn nur im übrigen die Ernährung sowie die anderen Vegetationsbedingungen günstige sind, auf maximale Erträge rechnen. Dasselbe gilt in geringerem oder stärkerem Grade von allen übrigen Schmetterlingsblütigen.

Aber auch abgesehen von diesem vereinzelt dastehenden Falle, fehlt es nicht an Beispielen, nach welchen Ertrag an bestimmten Bestandteilen und thatsächlicher Bedarf an denselben sehr stark voneinander abweichen. So liefert Tabak in einer Ernte von 3000 kg lufttrockenen Blättern pro ha 91 kg Kali; Zuckerrüben in einer Ernte von 30 000 kg Rüben und 10 000 kg Blättern das Doppelte, und dennoch ist keine dieser beiden Pflanzen besonders dankbar für eine Kalidüngung. Tabak enthält in dieser Ernte auch die enorme Masse von 188 kg Kalk, und ist auch wenig dankbar für eine Zuführung dieses Bestandteiles. Ebenso sind Hafer und noch in höherem Maasse die Lupinen wenig dankbar für eine Phosphorsäuredüngung, trotzdem zumal die letzteren dem Boden eine grosse Menge dieses Bestandteiles entziehen, und die Beispiele dieser Art würden sehr leicht zu vermehren sein.

Die Gründe dieser Inkongruenz, welche also nicht nur für den Stickstoff, welchen die Luft unter bestimmten Umständen in ansehnlichen Mengen liefern kann, sondern in geringerem Grade auch für die Aschenbestandteile, welche nur aus dem Boden aufgenommen werden, gilt, sind sehr einfach. Alle Bodenarten, ausgenommen nur die neu abgegrabenen Hochmoorböden und sehr wahrscheinlich die unfruchtbarsten Heidesandböden, enthalten immer eine grosse Masse von allen möglichen Pflanzennährstoffen, zum grössten Teile jedoch in einer ungelösten, mehr oder weniger schwer zugänglichen Form. Es hängt nun ganz und gar von der spezifischen Wurzel-

organisation einer bestimmten Pflanze und von der Vegetationsdauer derselben ab, ob sie diesen grossen Vorrat genügend auszunutzen vermag oder ob durch direkte Düngung mit diesen bestimmten Bestandteilen nachgeholfen werden muss. Lupinen haben, wie aus eben Mitgeteiltem hervorgeht, eine fast unglaublich grosse Fähigkeit, die Phosphorsäure, welche z. B. für Roggen ganz unzugänglich ist, aus den Bodenbestandteilen frei zu machen, und dasselbe gilt in etwas geringerem Grade von den Zuckerrüben gegenüber dem Kali. So kombiniert sich also mit dem durch die Analyse der Ernten angedeuteten „Bedarf“ ein zweites Moment, welches man als „spezifische Wurzelorganisation“ bezeichnen könnte, und macht die Zahlen des erstgenannten für einen direkten Gebrauch bei dem Feststellen der richtigen Düngung unbrauchbar.

Eine Zeit lang war man zwar noch bestrebt, eben durch Feststellen der *Wurzelorganisation* bei verschiedenen landwirtschaftlichen Kulturpflanzen die alte Ersatzlehre in ihrer Anwendung auf die Praxis zu retten; aber abgesehen von der grossen Schwierigkeit, feste Zahlen für die auflösende Kraft von Wurzeln aus dem Tiefgang und dem Habitus von diesen zu bekommen, folgt aus dem soeben Mitgeteilten, dass die genannte auflösende Kraft nicht nur spezifisch verschieden ist bei verschiedenen Pflanzen, und z. B. bei Hafer anders ist als bei Weizen, sondern dass diese spezifische Verschiedenheit auch gilt mit Bezug auf verschiedene Nährstoffe, so dass z. B. Lupinen stark mit Kali gedüngt sein wollen und also diesen Stoff nicht leicht aus halb verwitterten Gesteinen herausziehen, während sie sich die Phosphorsäure aus ganz unaufgelöstem Zustande zu beschaffen im stande sind. Dadurch nun wird die Sache so verwickelt, dass an eine theoretische Lösung dieser Frage vorläufig nicht zu denken ist.

Überdies kommt noch ein weiteres Moment hinzu. Wenn wir auch bei diesen Betrachtungen davon absehen wollen, dass in manchen Fällen die Qualität der geernteten Gewächse von der besonderen Zusammensetzung der gewählten Düngestoffe abhängt, dass wir z. B. bei Zuckerrüben und dem Tabak keinen Kainit*) und Latrindünger anwenden sollen (da dieses ein Gesichtspunkt ist von nicht sehr grosser Tragweite und in sehr vielen Fällen die Sache dadurch nicht komplizierter wird), so dürfen wir doch nicht aus dem Auge verlieren, dass die Düngung eine praktische Maassregel ist, welche ebenso wie alle praktischen Dinge neben ihrer technischen auch ihre ökonomische Seite hat, und gerade deshalb haben wir dieser ökonomischen Seite in diesen beiden letzten Vorlesungen Gerechtigkeit widerfahren lassen. Lange Zeit haben die Agrikulturchemiker, die angewiesenen Ratgeber der Landwirte in Düngungsfragen, ausschliesslich geurteilt nach rein technischen Gesichtspunkten und gemeint, dass das technisch beste auch von selbst ökonomisch am empfehlenswertesten sei, und dass jede Ertragssteigerung selbstverständlich auch eine Steigerung des Reinertrages bedeutete. Nun gilt dieses ja in der That wohl auch von denjenigen Pflanzennährstoffen im Dünger, welche wir, wie Kali, Phosphorsäure, Kalk etc., unter dem Begriff Aschenbestandteile zusammenfassen, da kein Mehrertrag an pflanzlicher Substanz denkbar ist, in welche nicht ein sehr ansehnlicher Teil der dazu notwendigen Nährstoffe übergeht, und wiederum kein solcher gefunden werden wird,

*) Mit Ausnahme der neueren zuckerreichen Rübenzüchtungen, die, wie Märcker gefunden, eine erhebliche Portion von diesem Dünger ertragen zu können scheinen.

welcher nicht einen bedeutend grösseren Wert hätte als den, welchen die darin anwesenden Aschenbestandteile an sich besitzen. Setzen wir im ungünstigsten Falle voraus, dass es sich um die Produktion von Heu oder von anderem billigen Viehfutter handelt, und dass die produzierten Stoffe nur teilweise von den Tieren aufgenommen, zu einem anderen Teile jedoch unter den Füßen der Tiere zertreten würden; die darin anwesenden Aschenbestandteile behalten doch immer noch ihren Düngerwert, und was die an organischen Stoffen haben produzieren helfen und was zur Ernährung der Tiere beitrug, ist reiner Gewinn.

Durch dieses ökonomische Moment nun wird die Düngerlehre in der That so kompliziert, dass man ganz und gar davon absehen muss, die Düngungsregeln zu konstruieren nach theoretisch feststehenden Daten, und es ist für einen jeden, der über einen gewissen praktischen Blick verfügt, klar — und deshalb ist es neben dem schon Angeführten unnötig, noch auf andere bestehende Schwierigkeiten aufmerksam zu machen —, dass die Düngungsregeln für die Praxis vorläufig auf empirischem Wege festgestellt werden müssen.

Die Aufgabe der Agrikulturchemie scheint bei diesem Sachverhalt sehr wesentlich reduziert zu sein. Kann man die zweckmässige Düngung eines Kulturgewächses nicht aus der Analyse desselben berechnen oder von anderen feststehenden wissenschaftlichen Sätzen herleiten, so kann sie nur durch Düngungsversuche ad hoc gefunden werden, und dafür scheint wissenschaftliche Kenntnis beinahe ganz überflüssig. Bei dieser Aburteilung vergisst man jedoch zwei Dinge. Erstens vermag die Wissenschaft — und hierauf haben wir schon früher hingedeutet — durch ihre Kenntnis von der Zusammensetzung der Ernte, durch ihr Urteil über den Vorrat und die Löslichkeit der Pflanzennährstoffe im Boden, doch (mit einer gewissen grösseren oder geringeren Wahrscheinlichkeit) anzudeuten, ob eine Zuführung von diesem oder jenem düngenden Bestandteile notwendig ist oder nicht, und also die verschiedenen Fälle, welche man sonst bei Düngungsversuchen zu beobachten hätte, *sehr bedeutend zu reduzieren*, während die reine Empirie alle möglichen Stoffe auf unserer Erde in allen möglichen Verhältnissen zu versuchen hätte, welches geradezu eine Arbeit ohne Ende wäre.

Aber auch in einer anderen Hinsicht vermag die Wissenschaft in dieser Frage nützlich zu sein; sie kann bei den notwendigen Versuchen nützliche Dienste erweisen, ich meine betreffs der streng *logischen Fragestellung*, in welcher Hinsicht der einfache nicht an systematische Versuche gewöhnte Praktikus fast regelmässig fehlgeht und wenigstens des Rates des Agrikulturchemikers bedarf — sowohl für die Anfertigung des Planes als für die Bearbeitung der Resultate. Man hat, wie wir früher gesehen, die Düngungsversuche vielfach geschmäht und es ist wahr, dass diese in der Regel, was Sicherheit und allgemeinen Nutzen der Resultate betrifft, unter allen Versuchsarten besonders tief stehen. Demgegenüber wünsche ich an dieser Stelle nochmals hervorzuheben, dass man sie trotzdem bei dem heutigen Stande der Wissenschaft und in absehbarer Zukunft nicht entbehren kann, und dass beinahe alle landwirtschaftliche Erfahrung auf derselben, in jedem einzelnen Falle, unsicheren Basis ruht. Diese nicht abzuleugnende Unsicherheit kann höchstens dazu führen, die so erzielten Erfahrungen durch Wiederholungen zu vervielfältigen und auf diesem Wege

auf die Dauer die unvermeidlichen Versuchs- und Wahrnehmungsfehler zu eliminieren. *Düngungsversuche* sind mithin bei dem gegenwärtigen Stande der Wissenschaft *notwendig* und gerade der geringen Sicherheit der Resultate wegen in jedem einzelnen Falle in *grosser Zahl* erwünscht.

Jede landwirtschaftliche Kulturpflanze für sich muss auf ihre Anforderungen an Pflanzennährstoffen untersucht werden, und ferner sind die Versuche in der Weise einzurichten, dass man für jeden Pflanzennährstoff, von welchem man nur voraussetzen kann, dass er unter natürlichen Umständen auf diese Weise ins Minimum kommen kann, also in der Regel für Stickstoff, Phosphorsäure, Kali und in manchen Fällen auch Kalk, einzeln feststellt, welches die Grenze ist des Mehrertrages, während die andren Bestandteile vorläufig in jedenfalls genügender Menge gegeben werden.

Das ist, wie man sieht, ein grosses Programm, dessen Ausführung bis jetzt nur zu einem sehr kleinen Teile erfolgt ist. Wie unreif die ganze Sache noch ist, folgt aus nichts deutlicher als aus den verschiedenen Mengen an Pflanzennährstoffen, welche von verschiedenen Agrikulturchemikern von Namen für eine und dieselbe Pflanze noch vor kurzem anempfohlen wurden oder noch werden.

Für Kartoffeln z. B. zu geben pro ha:

	Stickstoff.	Phosphorsäure.	Kali.
nach Wagner	20—30 kg	30— 50 kg	—
„ Märcker	60—90 „	20— 40 „	50—75 kg
„ George Ville	40 „	60 „	130 „
„ der Royal Agricultural Society	20—50 „	90—110 „	30—40 „

Wie man aus diesen Zahlen erschen kann, sind kaum grössere Abweichungen denkbar, und dieses Beispiel ist nicht das einzige; beinahe für jede landwirtschaftliche Kulturpflanze wiederholen sich diese Abweichungen, welche die Folge sind von doktrinärer Anwendung von unsicheren Lehrsätzen bei mangelhafter Erfahrung. Gerade weil man zu viel von der Theorie erwartete, hat man versäumt, zeitig Hand anzulegen und Erfahrungen zu sammeln, welche zu der Bildung eines guten Urteils in dieser wichtigen Sache erforderlich sind.

Mir scheint es, will der Agrikulturchemiker nicht herabsinken zu einem blossen Analysenmacher und in der nächsten Zukunft seine Stellung bewahren im Rate der Landwirtschaft, entschieden nötig, diese Kardinalfrage der praktischen Düngerlehre nach dem Vorgange von M. Märcker systematisch zu organisieren und die grosse Aufgabe über die verschiedenen Versuchsstationen (am liebsten international) zu verteilen. Jede Versuchsstation nehme es auf sich, für wenigstens eine Kulturpflanze den thatsächlichen Bedarf nach jedem einzelnen Pflanzennährstoffe durch wiederholte und vielfach variierte Versuche festzustellen. Dass wir es hier mit keinem unausführbaren Unternehmen zu thun haben, beweist die Thatsache, dass man sich über diejenigen Pflanzen, womit man die meisten Versuche gemacht hat, schon in dieser Beziehung ein Urteil gebildet hat, welches ziemlich unabhängig ist von individuellen Ansichten. Ich nenne als solche die Zuckerrüben, über welche man im Interesse einer sehr wichtigen Industrie schon sehr viele Untersuchungen angestellt hat, und hinsichtlich welcher kein Agrikulturchemiker anders raten wird, als dass man ihnen ziemlich viel Stickstoff, noch mehr Phosphorsäure, dagegen im Verhältnis zu ihrem Gehalte (aber

darum noch nicht absolut) wenig Kali geben soll. Ich nenne ferner das Grasland, in Hinsicht auf welches klar ist, dass man viel Kali, weniger Phosphorsäure und noch weniger Stickstoff geben soll. Endlich nenne ich die Lupinen, welche fast ausschliesslich mit Kali gedüngt sein wollen.

Man wähle für die Versuche am liebsten einen erschöpften oder von Natur wenig fruchtbaren Boden, gebe die übrigen Nährstoffe in reichlicher Menge und variere auf verschiedenen Parzellen den Pflanzennährstoff, mit Bezug auf welchen man das praktische Bedürfnis festzustellen wünscht.

Wieviel man dann bei der Anwendung solcher praktisch ermittelten Düngungsregeln von der auf diese Weise festgestellten normalen Düngung weglassen kann auf von Natur mehr fruchtbaren Böden und solchen von alter Dungkraft, muss dann später, soweit sich dieses durch einfache Kalkulationen nicht ermitteln lässt, durch besondere Versuche gefunden werden.

Solche Düngungsversuche sind also zunächst für die eigene Instruktion der Sachverständigen an den Versuchstationen. Sobald man auf diesem Wege zu Düngungsverhältnissen gekommen ist, welche vorteilhaft zu sein scheinen und abweichen von demjenigen, was in der Umgegend durch die Praxis geschieht, wird der Versuch auf die schon früher besprochenen, in grossem Maassstabe anzulegenden (als eine Art von Reklame wirkenden) Demonstrationsfelder übertragen.

Zum Schlusse gebe ich eine kleine Liste von aus eigenen und Erfahrungen von andern kombinierten Düngungszahlen, wie ich sie in den letzten Jahren für meine eigenen Gutachten gebrauche, in der Weise ausgedrückt, dass die Einheit 15 kg*) des betreffenden Pflanzennährstoffs bedeutet, ausser beim Kalke, wo es sich nur um Verhältniszahlen handelt:

	Stickstoff.	Phosphorsäure.	Kali.	Kalk.
Roggen	2	4	6	2
Weizen	3	4	5	2
Gerste	3	4	7	2
Braugerste	1 1/2	5	7	2
Hafer	3	2	3	3
Buchweizen	2	3	5	1
Grünmais	6	4	8	2
Runkelrüben	6	5	12	4
Klee	0	3	5	10
Luzerne	0	5	5	10
Serradella	0	3	8	8
Lupinen	0	1	4	3
Wiesen	1	2	8	3

*) Diese Einheit wurde gewählt, da ungefähr 15 kg den Gehalt vieler sehr gebräuchlichen Düngemittel an dem Pflanzennährstoff, welcher ihren Wert ausmacht, enthalten (Chilisalpeter, Kaimit, viele Superphosphate, Thomasphosphat, welches letztere aber aus früher erwähnten Gründen in doppelter Menge zu verwenden ist) und so die Einheit zugleich einen Metercentner oder gewöhnlich einen Sack des Düngemittels auf den Hektar bedeutet.

	Stickstoff.	Phosphorsäure.	Kali.	Kalk.
Kartoffeln	4	3	5	2
Zuckerrüben	4	6	8	10
Reps	5	5	6	6
Tabak	10	7	6	5
Flachs	2	3	5	3
Reben	2	5	7	6
Erbsen	1	4	4	5
Pferdebohnen	2	4	10	5.

Ich bin mir wohl bewusst, dass, indem ich diese Zahlen*) aus der Hand gebe, ich mich einer scharfen und in mancher Hinsicht vielleicht nicht unverdienten Kritik aussetze, und zweifellos werden einige derselben, wenn sie nicht ganz in Vergessenheit geraten sollten, in späteren Zeiten herausgegriffen werden, als ein Beweis dafür, wie wenig man noch zu dem Zeitpunkt, da ich dieselben mitteile, über das wahre Düngerbedürfnis mancher Kulturpflanzen gewusst habe. Ich gebe sie dennoch, einmal weil jeder praktische Agrikulturchemiker solche Zahlen nötig hat und weil selbst die noch sehr ungenauen besser sind als das noch vagere Bild, was man auch bei langjähriger Erfahrung über die Ansprüche der verschiedenen Gewächse im Kopfe zu haben pflegt, und dann andererseits, weil solche einmal niedergeschriebenen arithmetischen Grössen als eine Grundlage dienen können für eine notwendige Kritik. Durch neue Versuche werden dann die Zahlen in der einen oder der anderen Richtung korrigiert werden können und so wird langsam aber sicher eine feste empirische Grundlage entstehen für die Düngung, auf welche die verschiedenen ökonomischen Umstände einer bestimmten Gegend nur insofern einen Einfluss haben werden, als man bei hohen Preisen der Produkte die Zahlen, namentlich der billigeren Pflanzennährstoffe, entsprechend steigern, bei niederen Preisen jener (nach den früher entwickelten Grundsätzen der extensiven Landwirtschaft) an den teuren Pflanzennährstoffen sparen wird.

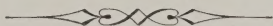
Die alte, in ihren ehemaligen Präensionen durch uns bekämpfte Ersatzlehre (oder besser die Methode der Berechnung des zu bietenden Ersatzes) hat heute nur noch eine Aufgabe, die in zweiter Linie steht.

Die eben mitgeteilten Zahlen sind, wie gesagt, solche, die einen nur verschwindenden Zuschuss aus dem Boden selber voraussetzen. In der Praxis muss dieser Zuschuss abgeschätzt und von der zu gebenden Düngung in Abrechnung gebracht werden. Zu dieser Abschätzung nun kann eine Art von Buchhaltung über Entnahme und Ersatz in den vorausgehenden Jahren gute Dienste leisten, muss aber auch hier nicht allzu siegesgewiss fussend auf solchen ziffermässigen Belegen vorgehen, sondern sich bescheiden, einen Beitrag zu liefern, neben welchem auch die Beurteilung der geognostischen Verhältnisse des Bodens und namentlich die Beobachtung von Erscheinungen an der Vegetation von Kulturpflanzen und Unkräutern, aus welchen auf

*) Auch für andere Wachstumsfaktoren (z. B. den Gebrauch an Wasser) bin ich gewohnt, das mir Bekannte in dieser Weise durch Verhältniszahlen auszudrücken und tabellarisch zu ordnen.

Überfluss oder Mangel an einzelnen Bestandteilen geschlossen werden darf, ihr gutes Recht haben. Man darf vor allem nicht ausser Augen lassen, dass die Entnahme praktisch ja nur aus Durchschnittsanalysen wenig genau festgestellt werden kann und dass von dem Gegebenen manches durch Auswaschung und chemische Umwandlung in unlösliche Verbindungen verloren geht. Wer diesen Wink versäumt, läuft Gefahr, sich in seinen Büchern reich zu rechnen und in Wahrheit arm zu wirtschaften.

Zum Glück ist die Praxis einfacher als die Doktrin. Die Aschenbestandteile sind, dank der hohen technischen Entwicklung der Düngerfabrikation, samt und sonders wohlfeil, und man kann von vielen ungestraft einen gewissen Überschuss im Boden anhäufen, ohne mehr als Zinsverlust befürchten zu müssen, und auf diese Weise hohe Ernten sicher stellen, und was den Stickstoff anlangt, so haben wir, dank den modernen Errungenschaften unserer Wissenschaft, ein Mittel kennen gelernt, sich denselben billig zu verschaffen. Die Düngerlehre, diese hauptsächliche Frucht der agrikulturchemischen Forschung, ist somit geeignet, dem praktischen Betriebe und somit der gesamten menschlichen Gesellschaft reichlich die Opfer zu vergüten, welche diese für die Entwicklung jener in der Form von Stiftung von Heimstätten der agrikulturchemischen Forschung übrig gehabt hat. Mit diesem befriedigenden Ergebnisse schliessen wir diese Vorlesungen.



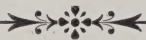
LEHRBUCH
DER
AGRIKULTURCHEMIE
IN VORLESUNGEN

VON
D^R. ADOLF MAYER.

ZWEITER TEIL.
DRITTE ABTEILUNG.
DIE GÄRUNGSCHÉMIE.

MIT IN DEN TEXT GEDRUCKTEN ABBILDUNGEN.

VIERTE VERBESSERTE AUFLAGE.



HEIDELBERG.
CARL WINTER'S UNIVERSITÄTSBUCHHANDLUNG,
1895.

DIE GÄRUNGSCHEMIE

ALS EINLEITUNG IN DIE

TECHNOLOGIE DER GÄRUNGSGEWERBE

IN

DREIZEHN VORLESUNGEN

ZUM GEBRAUCH AN UNIVERSITÄTEN
UND HÖHEREN LANDWIRTSCHAFTLICHEN LEHRANSTALTEN
SOWIE ZUM SELBSTSTUDIUM

VON

DR. ADOLF MAYER,

PROFESSOR UND VORSTAND DER HOLLÄNDISCHEN REICHVERSUCHSSTATION IN WAGENINGEN.

MIT IN DEN TEXT GEDRUCKTEN ABBILDUNGEN.

VIERTE VERBESSERTE AUFLAGE.



HEIDELBERG.

CARL WINTER'S UNIVERSITÄTSBUCHHANDLUNG.

1895.

Das Recht der Übersetzung in fremde Sprachen wird vorbehalten.

Inhaltsverzeichnis

des dritten Abschnittes des zweiten Teils.

Die Gärungschemie.

Erste Vorlesung, p. 3—19.

Einleitung. Überblick. — *Geschichtliche Entwicklung des Begriffs „Gärung“.* Einleitung. — Begriff von Gärung, von Ferment und von Enzym. — Fermentartige Wirkungen. — Enzymwirkungen. — Rekapitulation.

Zweite Vorlesung, p. 20—34.

Die chemischen Vorgänge bei der alkoholischen Gärung. Historisches. — Pasteur's Arbeiten. — Neuere Arbeiten. — Gärungssubstrate. — Rekapitulation.

Dritte Vorlesung, p. 35—53.

Die Ursächlichkeit der alkoholischen Gärung. Historisches. — Gay-Lussac. — Schwann's Versuche. — Angriffe auf die vitale Theorie. — Liebig's Theorie. — Andere Anschauungen.

Vierte Vorlesung, p. 54—68.

Die Ursächlichkeit der alkoholischen Gärung (Schluss.) — Vorläufer Pasteur's. — Pasteur's Arbeiten. — Van den Broek. — Die vitale Gärungstheorie. — Neueste Arbeiten. — Resultate.

Fünfte Vorlesung, p. 68—83.

Die Frage nach der Möglichkeit einer Urzeugung. Stand der Frage im 18. Jahrhundert. — Gegenwärtiger Stand. — Vermehrungsgeschwindigkeit niederer Organismen. — Resumé.

Sechste Vorlesung, p. 84—103.

Beschreibung der Hefeorganismen. Irrtümliche Anschauungen. — Pilze der Bierhefe. — Pilze der Weinhefe. — Weitere Saccharomyceten. — Fruktifikation der Hefepilze. — Die Frage nach dem Pleomorphismus. — *Mucorhefe.* — Hefe und Saccharomyces.

Siebente Vorlesung, p. 104—122.

Beschreibung der Hefeorganismen. Hansen's Entdeckungen. — Resultate. — *Die chemische Zusammensetzung der Hefepilze.* Hefeanalysen. — Fäulnisprodukte der Hefe. — *Die Hefevermehrung.* Scheinbare Verminderung. — Pasteur's Versuche. — Grösse des Zuwachses.

Achte Vorlesung, p. 122—137.

Die Ernährung der Hefepilze. Die Kohlenstoffquelle. — Die Stickstoffquelle. — Die Ammoniaksalze als Stickstoffquelle. — Die besten stickstoffhaltigen Nahrungsstoffe. — Der Stickstoffumsatz. — Resultate.

Neunte Vorlesung, p. 137—152.

Der Bedarf der Hefepilze an Aschenbestandteilen. Methode der Beweisführung. — Die notwendigen Bestandteile. — *Sonstige Lebensbedingungen der Hefepilze.* Der Wasserbedarf der Hefezellen. — Hefegifte. — Temperaturbedürfnisse. — Resultate.

Zehnte Vorlesung, p. 152—168.

Der Sauerstoffbedarf der Hefepilze. Die innere Atmung. — *Allgemeine Schlussfolgerungen.*

Elfte Vorlesung, p. 169—183.

Andere Gärungsprozesse. Die Essiggärung. — Resultate.

Zwölfte Vorlesung, p. 184—200.

Einteilung der Gärungsorganismen. Schimmelpilze, Sprosspilze und Spaltpilze. — Die wichtigsten durch solche bewirkten Umsetzungen.

Dreizehnte Vorlesung, p. 200—215.

Allgemeine Gesichtspunkte in der Chemie der Gärungen. Gärungen von fetten Säuren. — Andere Gärungen. — Gärung von Harnstoff. — Übersicht der gärungsfähigen Substanzen. — Sekundäre Gärungsprodukte. — Oxydationsgärungen. — Allgemeines Gesetz der Gärungen. — *Neue Ziele der Forschung.* — *Schluss.*

Druckfehler und Verbesserungen.

Teil I, p. 17, Zeile 19 v. o. muss heissen Sphaeroplaea statt Sphaeroplæe.

„ „ 121, „ 4 „ „ „ 34,4 statt 36,5.

„ „ 139, „ 4 „ „ „ „ O₂ statt O₃.

„ „ 147, „ 19 „ „ „ „ Phloridzin statt Phoridzin.

„ „ 234, „ 14 „ „ „ „ Fruchtschalen statt Samenschalen.

„ „ 296, „ 9 „ „ „ „ Thlaspi statt Thlapsi.

Teil II, 1. Abteilung, p. 56, Zeile 4 v. u. muss heissen 0,55 statt 0,34.

„ „ 2. „ „ 74, „ 16 „ o. „ „ 0,6 statt 0,16.

„ „ 2. „ „ 97, „ 6 „ u. „ „ 1894 statt 1884.

Dritter Abschnitt.

Die Gärungschemie.

Erste Vorlesung.

Einleitung. — Die geschichtliche Entwicklung des Begriffs „Gärung“. — Enzymwirkungen.

Der Gegenstand, den wir in diesen Vorlesungen zu behandeln unternehmen, steht in einer weit innigeren Beziehung zu der Lehre von der Ernährung der höheren chlorophyllgrünen Gewächse und zu der aus ihr sich aufbauenden Theorie des Feldbaues, als es nach einem oberflächlichen Überblick oder nach dem Stande unseres Wissens noch vor wenigen Decennien den Anschein hatte. Scheint doch das Band, welches die Gärungschemie*) (in Gemeinschaft mit der Tierernährungslehre) mit der chemischen Theorie des landwirtschaftlichen Pflanzenbaus umschlingt, ein lediglich aus den praktischen Rücksichten der Vielseitigkeit der agronomischen Produktions-thätigkeiten geknüpftes zu sein. Aber sonderbar, sei es ein merkwürdiges Spiel des Zufalls, oder mag dem Verhalten eine innere Notwendigkeit zu Grunde liegen, sämtliche Manipulationen des in verschiedenen Produktionsrichtungen thätigen Landwirthes beziehen sich mittelbar oder unmittelbar auf die Ernährung von Organismen, deren natürliche Verrichtungen er zu einem wirtschaftlichen Zwecke ausbeutet.

Erzeugung und Umformung von organischer Substanz mit Hilfe von lebenden Wesen; darauf lässt sich die ganze Thätigkeit des ländlichen Wirtschafers zurück-führen. Für die erstere bedient er sich mit Notwendigkeit der grünen Gewächse, die zur Ausnutzung des Sonnenlichtes auf ausgedehnten Bodenflächen kultiviert werden müssen; für die letztere nimmt er chlorophyllfreie Organismen in Anspruch, die, so verschieden sie sonst unter sich erscheinen mögen, doch insofern sämtlich physiologisch gleichwertig sind, als ihnen jedes Produktionsvermögen abgeht, während sie einfach die ihnen von den grünen Gewächsen überlieferte organische Substanz in neue wirtschaftlich wertvollere Formen verwandeln.

Dieses Verhalten und Ineinandergreifen von Thätigkeiten ist für die höheren Kulturgewächse einerseits, für unsere Nutztiere andererseits so auf der Hand liegend, dass man schon auf verhältnismässig niedrigen Stufen unserer naturwissenschaftlichen

*) Man hat in neuerer Zeit gegen die Bezeichnung Gärungschemie polemisiert als Ausdruck für die Wissenschaft von den Gärungserscheinungen; allein für den chemisch-physiologischen Teil derselben dürfte man sich doch vergeblich nach einer passenderen Bezeichnung umsehen. Die botanische Seite des Gegenstandes soll in der That im folgenden nur soweit berücksichtigt werden, soweit dieselbe zum Verständnis der chemisch-physiologischen Verhältnisse unumgänglich ist. Es bleibt daneben Platz für eine von Bakteriologen zu behandelnde Gärungsbotanik, ebenso wie neben der Agrikulturchemie für eine landwirtschaftliche Botanik, die für diesen Zweck gewöhnlich im speziellen Pflanzenbau gegeben wird.

Erkenntnis eine recht deutliche Vorstellung von ihm hatte. Anders dagegen mit den Gärungserscheinungen, welche man in den an den landwirtschaftlichen Betrieb am regelmässigsten sich anschliessenden und in ihn hineingreifenden Gewerben benutzt, um aus Traubensaft Wein, aus Getreide Bier, aus demselben Grundstoffe oder Kartoffeln Branntwein und aus allen diesen Rohmaterialien zusammen gelegentlich auch Essig zu erzeugen. Für diese Thätigkeiten waren die umwälzenden Entdeckungen der letzten Decennien dazu notwendig, um erkennen zu lassen, dass es sich auch bei diesen Produktionen um Kultur und Züchtung von lebenden Wesen handelt, welche im wesentlichen die gewünschte Stoffumbildung vollziehen.

Nach der Feststellung der vegetativen Natur der Hefe springt nicht allein die Verwandtschaft der Gärungsgewerbe mit dem der Landwirtschaft ins Auge, insofern es beide mit der Entstehung und Umformung von organischer Substanz mit Hilfe von Pflanzen und Tieren zu thun haben, aber noch ganz besonders der Vergleichungspunkt, dass man in diesem wie in jenem ausser die Erzeugung von Stoffen (in unserem Falle Alkohol) auch die Vermehrung und Verbesserung der Organismen selber, welche in jenem Falle nur als Mittel dienen, zum Zielpunkt der wirtschaftlichen Thätigkeit nehmen kann. So zweigt sich von der Spirituserzeugung als ein wesentlicher Teil der erwerblichen Thätigkeit die Hefeerzeugung ab — Hefeerzeugung für den Bäckereibetrieb (der seinerseits dieser Organismen zur Lockerung des Teiges bedarf), ganz ähnlich wie bei manchen Landwirten die Samenzucht neben dem Anbau von Feldfrüchten um der von ihnen gelieferten Produkte wegen, bei manchen auf dem Gebiete der Viehhaltung die Tierzucht neben Fleisch-, Milch- oder Wolleproduktion ein wesentlicher Teil des Betriebes wird. Ja, neuerdings hat sich infolge dieses Umstandes eine noch weitergehende Spezialisierung der Arbeitsrichtung ergeben, insofern besondere Anstalten sich auf die Reinzüchtung der besonders für gewisse Zweige der Gärungsgewerbe tauglichen Hefesorten legen, ganz ebenso wie durch einzelne Züchter ausschliesslich für Verbesserung und Reinhaltung ausgezeichneter Rassen von Gewächsen und Nutztieren gearbeitet wird.

Wenn wir nun die Wissenschaft der Agrikulturchemie, trotz der immer mehr fühlbar werdenden Inkongruenz ihres Namens mit dem zu bezeichnenden Arbeitsfelde so fassen, dass sie sich mit den physischen Grundlagen des Gedeihens der von der Landwirtschaft zu ihren Zwecken ausgebeuteten lebenden Wesen zu beschäftigen habe, so gehören natürlich unsere hier anzustellenden Betrachtungen mit in das Bereich der genannten Disziplin. Und so möchte ich in der That das Vorzutragende aufgefasst wissen.

Damit steht denn im nächsten Zusammenhang, dass wir keine Technologie der Gärungsgewerbe zu geben beabsichtigen, sondern nur die naturwissenschaftliche Grundlage für eine solche, ähnlich wie die Agrikulturchemie im engeren Sinne des Worts eine theoretische Grundlage für die landwirtschaftliche Pflanzenbaulehre abgibt, nicht selbst eine solche darstellt. Mit anderen Worten, wir wollen in diesen Vorträgen nur rechnen mit wissenschaftlich festgestellten Grössen auf die Gefahr hin, nur eine unvollständige Theorie der praktisch wichtigen Erscheinungen geben zu können. Die chemische Technologie im Gegenteile macht es sich etwa wie die Ackerbaulehre zur Aufgabe, gelegentlich selbst auf Kosten der Wissenschaft-

lichkeit etwas für das praktische Leben direkt Brauchbares zu geben, indem sie naturwissenschaftliche Forschungen und praktische Erfahrung, so gut es gehen will, zusammenschweisst und daraus ein Lehrgebäude schmiedet; sie deduziert die Praxis nicht ausschliesslich aus den theoretischen Grundlagen, sondern induziert sie teilweise aus dem thatsächlich Erprobten. Gewiss ist dieses Bestreben zur Zeit noch ein unumgänglich notwendiges, so häufig die richtige Grenzlinie durch Mitteilung von nur relativ Richtigem und von Dingen, die eben nicht vom Katheder gelehrt, sondern nur durch praktische Anschauung gelernt werden können, überschritten wird. Allein die Methode ist doch nur ein Notbehelf der Vermittlung zwischen Theorie und Praxis, und mit der fortschreitenden Entwicklung der ersteren wird die letztere immer vollständiger aus ihr abgeleitet werden können, so dass das Terrain der Vermittlungswissenschaften wie das Gebiet der Indianer in Nordamerika stetig an Umfang abnimmt und immer mehr und mehr von den streng theoretischen Disziplinen erobert wird.

Die Zukunft gehört uns. — Dies als Trost für die Unvollständigkeit unserer Leistungen. Schlagen wir also vertrauensvoll den Weg der rein naturwissenschaftlichen Herleitung des praktisch Wichtigen ein und reden zunächst von den Gärungserscheinungen im allgemeinen.

Wenn ich hier von einer ganzen Reihe von Gärungserscheinungen zu handeln verspreche, so bedarf dies für den weniger Eingeweihten einiger Aufklärung, indem keineswegs eine sehr grosse Anzahl von diesen Erscheinungen Gegenstand wissenschaftlicher Forschung gewesen ist, sondern diese letzteren fast ausschliesslich ein einziges Phänomen, die alkoholische Gärung, zum Gegenstand gehabt haben. Allein trotzdem hat man einige Berechtigung, von der fortschreitenden Erkenntnis der Gärungserscheinungen zu reden, einfach weil eine ganze Reihe der Schlüsse, von dem Studium der einzelnen Erscheinung abgeleitet, eine sehr allgemeine Geltung in Anspruch nimmt. Welch hohe praktische Bedeutung gerade die wissenschaftliche Erkenntnis der alkoholischen Gärung ausserdem besitzt, ist dann kaum nötig daneben hervorzuheben.

Ich beabsichtige nun, den uns vorliegenden reichen Stoff nach folgendem Plane zu behandeln. Zuerst wollen wir nach Mitteilung einiger historischen Notizen einen *kurzen Überblick über den etwas schwankenden Begriff einer Gärungserscheinung und über die Absonderung einer solchen und besonders der alkoholischen Gärung von anderen scheinbar verwandten Phänomenen* zu geben suchen, um dann, uns spezialisierend, ausschliesslich zur Betrachtung der alkoholischen Gärung überzugehen und zunächst die dabei *stattfindenden chemischen Vorgänge erfahrungsmässig* festzustellen. Diese Gegenstände werden zunächst unsere Aufmerksamkeit in Anspruch nehmen. Mit solchem thatsächlichen Materiale ausgerüstet, werden wir sodann in der Lage sein, die wichtige Frage nach der *Ursächlichkeit der Erscheinung der Alkoholgärung* mit einiger Aussicht auf eine (wenn auch keineswegs erschöpfende) Beantwortung aufzuwerfen. Da wir nun bei Behandlung dieser Frage auf die Thatsache stossen werden, dass *Organismen notwendig* an der Alkoholgärung beteiligt sind, so müssen folgerichtig unsere weiteren Betrachtungen diesen Organismen gewidmet sein. Wir werden in Bezug auf sie in erster Linie zu fragen haben, wie es sich mit ihrer *Zeugung* verhält, namentlich ob es sich bei ihnen, wie früher wohl behauptet worden ist, um eine *spontane oder*

elternlose Zeugung handeln kann. Diesem Gegenstande wird sich dann die *Beschreibung der wahren Generation der Gärungsorganismen, die morphologische Erörterung derselben*, soweit dies für unsern Zweck notwendig, naturgemäss anschliessen, ein Kapitel, in welchem wir dank dem Fleiss der Botaniker in der allerjüngsten Zeit sehr bedeutende Fortschritte gemacht haben. Natürlich müssen wir aber hier die eigentliche spezielle Botanik der Gärungsorganismen, ebenso wie früher die Botanik der landwirtschaftlichen Kulturgewächse, als ein besonderes Gebiet zur Seite liegen lassen, und wir können dies um so mehr, als dasselbe in neuerer Zeit durch wohlberufene *Mykologen* oder, wie man jetzt weniger scharf sagt, „*Bakteriologen*“ bearbeitet zu werden pflegt.

Von ebenso grosser praktischer Wichtigkeit als die Kenntniss der botanischen Natur der Gärungsorganismen ist das *physiologische Studium ihrer Ernährung*. Auch in dieser Richtung haben moderne Forschungen bedeutende Fortschritte zur Folge gehabt, wenn die einschlagenden weitläufigen Fragen auch noch nicht alle zu einer endgültigen Entscheidung gebracht werden konnten. Dieser Gegenstand wird uns, samt den mit ihm zusammenhängenden Fragen *nach der Zusammensetzung der Gärungsorganismen, nach der quantitativen Vermehrung derselben während der Gärung*, in mehreren Vorlesungen beschäftigen. Dann werden wir *einige sonstigen Lebensbedingungen* der fraglichen Organismen, deren *Abhängigkeit von Temperaturverhältnissen*, deren *spezifische Gifte* etc. zu behandeln haben, und zuletzt wird uns die Betrachtung der *Atmungserscheinungen der Hefe* nochmals gestatten, von einem höheren Standpunkte aus auf die schon früher erörterte Frage *nach der Ursächlichkeit der Alkoholgärung* zurückzublicken.

Anknüpfend an die alkoholische Gärung werden wir dann auch das *über die Natur der Essiggärung und deren Ursache* Bekannte, sowie einige *Notizen über andere wichtigen Gärungserscheinungen* mittheilen, wodurch wir erkennen werden, inwieweit die aus der Betrachtung unseres Hauptgegenstandes abgeleiteten Gesetzmässigkeiten eine allgemeinere Geltung besitzen, ganz abgesehen von dem praktischen Interesse, welches einzelne dieser Erscheinungen für sich in Anspruch nehmen. Schliesslich werden dann einige theoretischen Betrachtungen angestellt werden, welche die Gesamtheit der Gärungen umschliessen.

Ich werde, wie man sieht, möglichst allen einschlagenden Fragen volle Beachtung zu teil werden lassen; denn gerade die gründliche und allseitige Behandlung einer Erscheinung wie die vorliegende wird es nach meiner Meinung gestatten, einer jeden Einzelheit eine interessante Gestaltung zu verleihen. Allein ganz abgesehen hiervon, ist eine Zusammenfassung der Resultate nach einer fruchtbaren, aber zersplitternden Detailforschung, ein behagliches Verweilen auf einem hervorragenden Aussichtspunkt nach Zurücklegung eines schwer zu erklimmenden, vielfach sich windenden Pfades ein wahrhaftiges wissenschaftliches Bedürfnis.

Zunächst ist nochmals zu konstatieren, was jedermann weiss, dass die roh empirische Bekanntschaft der Menschen mit gewissen Gärungserscheinungen und vor allem mit der alkoholischen Gärung uralte ist, und sogar in die mythischen Perioden

der Geschichte hinaufreicht. Es ist dabei unnötig, speziell daran zu erinnern, dass die Entdeckung der Weinbereitung bei den verschiedensten alten Kulturvölkern hervorragenden mythischen Persönlichkeiten, gewöhnlich Gottheiten (Osiris, Noah, Bacchus) zugeschrieben wird, dass die alten Ägypter eine Art Bier bereiteten, dass in den alten Urkunden des jüdischen Volkes, welche Moses zugeschrieben werden, von Brotgärung die Rede ist u. s. w. Jedenfalls folgt hieraus, dass die sich (gleichviel wo) entwickelnde chemische Wissenschaft eine Kenntnis der Gärungserscheinungen vorgefunden hat und diese nicht erst zu schaffen brauchte.

Diese Thatsache ist, wie man leicht erkennt, nicht ohne Bedeutung für die Begriffsentwicklung von Gärung; denn die dahingehörigen Erscheinungen hatten sich längst zu einem populären und naturgemäss wenig festen Begriffe gestaltet, ehe man an deren wissenschaftliche Erörterung, an die genaue Abgrenzung und Feststellung ihrer Wesenheit denken konnte. Die junge Wissenschaft bediente sich der vorhandenen Vorstellung als Bild oder gar als Analogon für neuentdeckte Erscheinungen, und als Folge liegt klar auf der Hand — ein unsäglicher Wirrwarr in der Bezeichnung von bestimmten Erscheinungen als Gärungen oder Fermentationen, wie wir ihn selbst bis zur neuesten Zeit antreffen.

Erst jetzt, nach der sehr umfassenden Bearbeitung der einschlagenden verwickelten Fragen, darf sich die Wissenschaft eine endgültige Definition des ursprünglich populären Begriffs erlauben.

Die Mitteilungen aus der mittelalterlichen Chemie (die freilich zum grossen Teile in Perioden der Geschichte hinüberspielt, welche wir sonst schon mit dem Namen der Neuzeit zu belegen gewohnt sind) über Begriff und Kenntnis der Gärungserscheinungen haben in der That kaum ein anderes Interesse für uns, als diese eigentümliche Begriffsschwankung festzustellen. Nur hier und da sehen wir, und je mehr wir der eigentlichen Neuzeit der Naturwissenschaften zueilen, um so rascher, die empirische Erkenntnis der Gärungserscheinungen um eine wichtige Thatsache bereichert und beobachten, wie sich die spätere Auffassung nach dem Umfange der erkannten Thatsachen richtet.

Wir übergehen zunächst die einzelnen wenig bedeutenden Aussprüche und Beobachtungen Naturkundiger des Altertums in Bezug auf Gärung, wie die von Plinius*), bei der Brotgärung müsse eine Säure vorhanden sein, sowie die auf der Hand liegende Beobachtung von Plutarch, dass Kälte die Gärung verhindere, mit Stillschweigen.

Für das spätere Mittelalter, in welchem die chemischen Studien im mittleren Europa auf Anregung der Araber hin wieder oder, wenn man will, zum erstenmal Bedeutung gewonnen hatten, ist in Bezug auf unseren Gegenstand der vollständig identische Gebrauch des Wortes *Fermentatio***), d. i. *Gärung*, mit *Di-*

*) Vergl. über die Mehrzahl der hier gemachten historischen Notizen: Kopp, Geschichte d. Chemie, B. 4, 1847, p. 285 u. f.

**) Wie denn die Etymologie des Wortes *Fermentatio* auf das lateinische *fervere* (wallen, kochen), indogermanisch vielleicht mit *gären* verwandt, hinzuweisen scheint. Jedenfalls hat auch das letztere, das ja in niederdeutschen Mundarten „gesen“, im Holländischen „gisten“ heisst, eine ähnliche offenbar ursprünglich onomatopoëtische Bedeutung.

gestio, worunter man damals eine jede nach aussen hin, z. B. durch Aufbrausen bemerkbare chemische Aktion verstand, charakteristisch. Ganz übereinstimmend mit diesem Sprachgebrauch galt auch zu dieser Zeit ein jeder bei einer derartigen Reaktion chemisch wirksame Körper als ein Ferment, und ebenso wurde der Ausdruck *Putrefactio*, d. i. *Fäulnis*, auch eine Zeit lang für eine bestimmte Art von chemischen Vorgängen, z. B. für *langsame Auflösung unorganischer Substanzen*, verwendet.

Es leuchtet ein, man sah die Gärungserscheinungen und ebenso die Fäulniserscheinungen als in keinem Stücke wesentlich verschieden an von den neu entdeckten chemischen Vorgängen, und man trug kein Bedenken, die vorhandenen populären Ausdrücke in einem, wie man glaubte, analogen, nur erweiterten Sinne zu gebrauchen, gerade wie wir jetzt, nur auf Grund tiefer gehender Kenntnisse, den Ausdruck Verbrennung auf alle möglichen, unmerklich leisen Oxydationsvorgänge zur Verwunderung eines manchen Laien ausgedehnt haben. Man kann also der damals gültigen Begriffsbestimmung an sich keinen Vorwurf machen und hat nur festzustellen, dass das geringe Maass von Erkenntnis ein genaueres Auseinanderhalten der Begriffe nicht ermöglichte. Charakteristisch erscheint aber für diese ganze Zeit, dass gerade umgekehrt von heutzutage, wo man bestrebt ist, die Gärungserscheinungen soweit möglich in die gewöhnlichen chemischen Vorgänge einzuordnen, die Alchemisten in jenen den Schlüssel suchten für diese. Sie glaubten eine chemische Erscheinung erklärt zu haben, wenn sie einen Körper als fermentum bezeichnen konnten, und das ganze Suchen nach dem „Stein der Weisen“, welches uns heute in einem stark mystischen Lichte erscheint, war im Grunde nichts als das Aufsuchen eines Universalfermentes für alle möglichen chemischen Erscheinungen.

Die angedeutete Begriffsverwirrung steht nun auch im allerengsten Zusammenhange mit der für jene Zeit charakteristischen Verwechslung unorganischer und organischer Prozesse überhaupt. Es sei in dieser Richtung nur angeführt, dass man bestrebt war, Metalle aus „Samen“ darzustellen, d. h. also an die Entwicklung von Metallen auseinander oder aus anderen Stoffen nach dem Vorbilde der Entwicklung von organischen Wesen glaubte. Dass auch speziell für den Prozess der Alkoholgärung viele falschen Annahmen bestanden, die durch eine einfache Beobachtung des wirklichen Sachverhalts hätten widerlegt werden können, braucht nach dem Gesagten und bei der einseitig spekulativen Richtung der damaligen Forschung nicht des weiteren hervorgehoben zu werden.

Für den weiteren Verlauf der wissenschaftlichen Erkenntnis bezüglich der Gärungsvorgänge mögen etwa folgende Daten bezeichnend sein. Der bekannte Chemiker Basilius Valentinus, der um die Mitte des 15. Jahrhunderts experimentierte und schrieb, fasste die geistige Gärung als einen Reinigungsprozess des Alkohols auf, welcher letzterer schon vorher als in der ungegorenen Flüssigkeit vorhanden vorausgesetzt wurde. Die Gärung, meinte dieser Forscher, sei einem reinigenden Feuer vergleichbar, durch welches der Alkohol von allen unreinigenden Beimengungen, die ihn verhinderten, mit seinen wahren Eigenschaften hervortreten, befreit werde.

Libavius unterscheidet 1595 zwischen Digestio und Fermentatio, bezeichnet

die Putrefactio als der letzteren nahe verwandt, macht auf die Notwendigkeit des Aufgelöstseins oder wenigstens der feineren Verteilung der gärenden Substanzen aufmerksam und stellt ausserdem die Ansicht auf, dass das wirkende Ferment mit der sich umsetzenden Masse eine substantielle Verwandtschaft besitzen müsse, ein Satz, der, wie sich nachher herausstellte, einen Kern von Wahrheit enthielt und auch als eine Vorstufe der späteren Stahl'schen Ansicht gelten kann.

Wenn dem gegenüber mit van Helmont (um 1648) vielleicht ein Rückschritt bezüglich der allgemeinen begrifflichen Scheidung der Gärungserscheinungen von anderen weit abliegenden Prozessen datiert, und dieser Forscher nicht bloss einen jeden beliebigen physiologischen Prozess innerhalb des Körpers eines Tieres, ja gelegentlich die Tierentstehung selbst durch „Ferment-Lebenskraft“ geschehen lässt*), und auch wegen der rein äusserlichen Ähnlichkeit das Aufbrausen von Säuren in alkalischen Flüssigkeiten mit der Kohlensäureentwicklung bei der geistigen Gärung zusammenwirft, so machte er doch in der empirischen Erkenntnis gerade dieser Gärungserscheinung einen beachtenswerten Schritt vorwärts, indem er zum erstenmal die entweichende Kohlensäure von dem in der vergorenen Flüssigkeit dauernd verbleibenden Alkohol deutlich auseinander zu halten lehrte**) und auch in Bezug auf die Natur des entweichenden Gases die richtige Bemerkung machte „fermentum volatilizet, quod alias in carbonem mutatur“. Die wirkliche Identifizierung dieses Gas vinorum mit der anderwärts schon beobachteten Kohlensäure gelang erst Wren ein Dutzend Jahre später. Daneben zeugt dann wieder van Helmont's Bemerkung, dass aus dem Fermente ein „Samen“ in die gärende Flüssigkeit übergehe, von der eben namhaft gemachten Verwirrung der allgemeinen Begriffe.

Sylvius de le Boë unterschied nur wenige Jahre später mit klaren Worten zwischen der Kohlensäureentwicklung bei der Gärung und der bei Zerlegung der kohlensauren Alkalien durch Säuren, indem er aussprach, im ersteren Falle handle es sich um eine Zersetzung, im anderen Falle um eine Verbindung. Diese Bemerkung, obgleich einseitig, hat doch auch nach unseren heutigen reiferen Vorstellungen einen guten Grund und durfte für die damalige Zeit als tiefsinnig gelten; denn die letztere Zersetzung erfolgt in der That nur, weil gleichzeitig eine Verbindung von weit grösserer Energie des Bestehens gebildet wird, während es sich im ersteren Falle thatsächlich um die Spaltung eines Moleküls in mehrere kleinere handelt.

Ein sehr namhafter Fortschritt wurde dann noch in demselben Jahrhundert und nur kurze Zeit nachher durch den berühmten Chemiker Becher gebracht, welcher nicht nur durch Beobachtung zu dem (soweit es sich um die alkoholische Gärung handelt) wahren Satze gelangte, dass nur süsse Flüssigkeiten die Gärung erleiden, ferner zeigte, dass der Alkohol neu gebildet werde, sondern auch die bedeutungsvolle, weit über seine Zeit hinausreichende Bemerkung machte, Verbrennung

*) Dedu leitete sogar noch 1685 das Wachstum der Pflanzen aus einer Gärung her (Sachs: Geschichte d. Botanik, 1875, p. 507). Diese Verirrungen scheinen zusammenzuhängen mit den Nachwirkungen scholastischer Philosophie. Unter Ferment ist zur Zeit der Iatrochemiker häufig eine Art von geheimnisvoller Lebenskraft zu verstehen.

**) Siehe über Helmont's Beobachtungen aus Œuvres de Lavoisier, 1864, T. 8, p. 448.

und Gärung seien analoge Vorgänge — ein Vergleich, der uns wieder durch die Entdeckungen der allerneuesten Zeit aufgedrängt wird. Bei Becher bedeutete er allerdings nicht viel mehr als einen Ausdruck dafür, dass die Anwesenheit von Luft nach seinen Beobachtungen für die Gärung notwendig sei, ein Satz, den wir heute freilich nur als einen sehr bedingt richtigen erkennen können. Daneben schied Becher die Fäulnis von der Gärung, welche beiden im übrigen als durchaus ähnliche Vorgänge aufgefasst wurden, durch den Grundsatz, dass Fäulnis das Substrat verschlechtere, jene dasselbe veredle — freilich eine kindlich subjektive Auffassung, die aber bei verschiedenen Schriftstellern in ähnlicher Weise wiederkehrt und ähnlich schon von Libavius ausgesprochen wurde und trotzdem den Grund gelegt hat zur praktisch richtigen Unterscheidung zweier auch ihrer Ursächlichkeit nach sich nicht völlig deckenden Erscheinungen.

Die weitere Einteilung der Gärungserscheinungen durch Becher hat unleugbar ihre grossen Schwächen, und wir finden da wieder Gasentwicklung jeder Art, nicht bloss beim Anschwellen kranker Tiere, sondern auch bei rein chemischen Reaktionen eine Unterabteilung bilden. Daneben wird dann zweckmässig die eigentliche Gärung im engeren Sinne des Wortes und die saure Gärung auseinandergehalten, eine Unterscheidung, welche nachher allgemein Anklang fand.

Wenn Becher hauptsächlich Fortschritte in Bezug auf die Erkenntnis der Gärungserscheinungen ihrem äusseren Auftreten nach brachte, so beschäftigte sich der Begründer einer neuen Richtung in der Chemie, Stahl, der mit seinen Anschauungen sein ganzes Zeitalter beherrschte, 1697, wieder mit der Theorie des Vorgangs, mit der tiefer liegenden Ursache des Phänomens. Die von ihm aufgestellte Gärungshypothese wird am klarsten in folgendem seiner Worte ausgesprochen*):

„Ein Körper, der in Faulung begriffen ist, bringet bei einem andern, von Faulung annoch befreiten, sehr leichtlich die Verderbung zu Wege; ja es kann ein solcher, bereits in innerer Bewegung begriffener Körper einen andern annoch ruhigen, jedoch zu einer sothanen Bewegung geneigten, sehr leicht in eine solche innere Bewegung hinreissen.“

Wenn wir an eine brauchbare Theorie den Maassstab anlegen, dass uns von ihr ausgehend eine Reihe von bis dahin scheinbar zusammenhanglosen Thatsachen verständlich erscheinen soll, so verdient die Stahl'sche Theorie dieses Prädikat zweifellos, denn sie giebt uns einen handgreiflichen Grund für die Infektionswirkungen gärender Flüssigkeiten. Ausserdem nimmt die Stahl'sche Anschauung unser Interesse ganz besonders in Anspruch, weil wir in unserem Jahrhundert eine ganz ähnliche Hypothese betreffs der Ursächlichkeit der Gärungserscheinungen selbständig werden wiederkehren sehen, obwohl sie für dasselbe weniger zeitgemäss erscheint.

Die Stahl'schen Ansichten blieben von der Zeit ihrer Aufstellung, d. i. vom

*) *Zymotechnia fundamentalis*, deutsch, Frankfurt 1734, p. 304. Auch Willis hatte kurze Zeit vorher ähnliche Ansichten ausgesprochen. (Siehe hierüber Kopp: a. a. O., p. 293, daselbst auch noch andere charakteristische Citate von Stahl.) Aber freilich erstreckten sich auch diese Anschauungen nicht auf Dinge allein, die wir jetzt unter den Gärungserscheinungen abhandeln, sondern auf viel umfassendere Gebiete. Vgl. z. B. Stahl: *Fundamenta chemiae*, 1723, p. 29 u. f., wo der Begriff *fermentatio* erläutert wird.

Anfange des 18. Jahrhunderts die herrschenden, bis endlich durch Lavoisier und seine Zeit der Chemie eine ganz neue Morgenröte aufging. Und auch jetzt wurden sie nicht direkt widerlegt, sondern gerieten nur durch das viele Licht, welches sich infolge der Entdeckung des Sauerstoffs auch auf die organischen und physiologischen Prozesse ergoss, in Vergessenheit. Was wollte auch eine allgemeine Gärungstheorie bedeuten in jener, durch den Begründer der quantitativen Chemie eingeleiteten, experimentierfrohen Zeit, da man erst begann, die allerelementarste Kenntnis von dem Chemismus der Gärungen zu gewinnen, ja noch die Zusammensetzung der Gärungssubstrate und -Produkte analytisch festzustellen hatte!

Dazwischen fällt nur noch eine beachtenswerte Bemerkung eines Zeitgenossen Stahl's, nämlich Boerhave's, der auf Grund seiner Beobachtungen aussprach, *nur Vegetabilisches erleide Gärung, tierische Stoffe seien bei ihrer Zersetzung der Fäulnis unterworfen*, — wiederum ein nicht ganz scharf zutreffender, aber für seine Zeit bedeutungsvoller induktiver Schluss. Ausserdem noch einige unbedeutendere Resultate Kunkel's und die genauere Feststellung der Natur der während der Gärung sich entwickelnden Kohlensäure und deren Messung durch Mac-Bride und Cavendish. Im übrigen hatten sich in jener Periode die Ansichten über den Begriff der Gärung ziemlich geklärt, wie sich aus der Lektüre der Lehrbücher aus der Zeit unmittelbar vor Lavoisier ergibt*). Auch hatte eine Einteilung in geistige, saure und faulige Gärung allgemeine Bedeutung gewonnen.

Da schlug wie ein Blitzstrahl vom heiteren Himmel Lavoisier's berühmte Entdeckung, wenn nicht des Sauerstoffs selbst, doch der Bedeutung dieses Stoffs für alle chemischen Anschauungen in die veralteten Theoreme der Phlogistiker, und dieselbe äusserte sogleich auch einen tiefgehenden Einfluss auf die Betrachtung der Gärungserscheinungen, neben welchem die Detailbeobachtungen des grossen Reformators über die quantitativen Verhältnisse der geistigen Gärung und, dass Sauerstoff zur Essigbildung notwendig sei, in ihrer Bedeutung verschwinden. Von hier datiert erst die eigentliche Neuzeit in Chemie und chemischer Physiologie.

Wir brechen daher den Faden unserer historischen Erzählung an diesem Punkte ab, indem die Schilderung der weiteren Fortschritte in der Erkenntnis der Gärungserscheinungen zweckmässig nach den einzelnen Seiten hin geschieht, von welchen aus die fraglichen Prozesse sich betrachten lassen. Nur in Bezug auf die Feststellung des Begriffs einer Gärung, wie sie durch die neuere Zeit vorgenommen worden ist, wollen wir vorausgreifend folgendes bemerken.

Im allgemeinen versteht man in der neueren Zeit unter Gärung *eine chemische Umsetzung von (gelösten) organischen Substanzen, welche nicht nach den gewöhnlichen Regeln der chemischen Verwandtschaft zu erfolgen scheint, und für deren Fortgang die infizierende Wirkung einer verhältnismässig kleinen Menge eines anderen, organischen Stoffes, eines „Gärungserregers“ angenommen wird*. Im übrigen war der Begriff einer Gärungserscheinung bis in die neueste Zeit ein äusserst schwankender und zuweilen selbst von der jeweiligen Erklärung abhängiger. So wurden sowohl nach der Kontakt- und katalytischen Theorie der fraglichen Vorgänge, als auch nach der sog. mechanischen Gärungstheorie Prozesse

*) Vgl. z. B. Erxleben: Anfangsgründe d. Chemie, 1775.

aus der unorganischen Chemie als Vergleichungspunkte gewählt, ja solche schlechthin als Gärungserscheinungen aufgefasst, während die vitale Gärungstheorie wieder genötigt war, den Begriff sehr wesentlich einzuschränken.

Kurz, es zeigte sich eben hier, dass die *Erforschung* einer Klasse von Erscheinungen notwendig einer scharfen Definition derselben vorausgehen muss, und da wir eben erst im Begriffe sind, von dieser Forschung zu berichten, so ist es selbstverständlich, dass wir eine erschöpfende Definition aller dieser Erscheinungen von vornherein nicht geben können.

Wir wollen, unserer ausführlichen Darstellung vorgreifend, nur so viel erwähnen, dass es der fortschreitenden Wissenschaft gelungen ist, eine grosse Anzahl jener Erscheinungen, die von jeher als Gärungen aufgefasst wurden, aus einem gemeinschaftlichen Gesichtspunkte, wenigstens bis zu ihrer nächstliegenden Ursächlichkeit, aufzuklären, und dass diese nun sämtlich aufgefasst werden können *als Umsetzungen organischer* (in selteneren Fällen auch stark reduzierter mineralischer) *Substanzen, veranlasst durch niedrige, einzellige, chlorophylllose Organismen* (Pilze und Bakterien).

Dann sind hier ebenso einige erläuternden Bemerkungen über den modernen Begriff von *Ferment* anzureihen, da dieser sich heute nicht mehr mit dem ursprünglichen eines Körpers, fähig zur Gärungserregung, deckt. Der Begriff einer Gärungserscheinung hat sich, wie wir schon angedeutet haben, durch die neueren experimentellen Entdeckungen nicht unwesentlich verengert. Es giebt aber daneben eine grössere Anzahl von Vorgängen, die wenigstens das gemeinschaftliche negative Merkmal an sich tragen, dass sie sich zur Zeit nicht nach den gewöhnlichen Regeln der chemischen Affinität erklären lassen, und dass zu ihrem Zustandekommen zwar die Anwesenheit bestimmter Stoffe notwendig ist, während diese sich doch nicht erkennbar an der Reaktion beteiligen, und deren Menge auch zu dem Umfange des verursachten Chemismus in einem ganz ungewöhnlich kleinen Verhältnisse steht. Solche Vorgänge, deren wirkliche Zusammengehörigkeit durch einen positiven Charakter unbewiesen, ja in vielen Fällen ganz unwahrscheinlich ist, hatte man sich gewöhnt, soweit sie sich auf organische Stoffe erstrecken, als *Fermentwirkungen*, soweit sie die Mineralchemie betreffen, wenigstens als *fermentartige Wirkungen* zu bezeichnen, während die dabei beteiligten Stoffe den Namen von *Fermenten* oder *fermentartig wirkenden Stoffen* trugen. Die nun durch die Wirkung von Organismen erklärten Gärungserscheinungen fielen natürlich innerhalb die so charakterisierte Gruppe. In diesem Falle ist das Ferment eben der Gärungsorganismus, und man sprach folgerichtig in der allgemeinen Bedeutung des Wortes Ferment von *organisierten Fermenten*.

Auf die (auf den Zusammenhalt durch lediglich negative Merkmale begründete) *naturgemässe Unbeständigkeit* der Gruppe „Fermentwirkungen“ sei noch mit ein paar Worten hingedeutet. Durch nichts wird dieser Sachverhalt mit grösserer Klarheit dargelegt werden können, als wenn wir nachweisen, dass eine Reihe von chemischen Vorgängen infolge des näheren Studiums ihres Zustandekommens aus jener Gruppe ausgeschieden werden musste — wohlgemerkt, nicht durch Widerlegung eines bis dahin fälschlich angenommenen chemischen Verlaufs, sondern lediglich durch nähere

Spezialisierung und Erklärung desselben*), oder wenn wir — was im Grunde dasselbe ist — den Nachweis führen, dass gewisse, nicht als fermentartig betrachteten, chemischen Vorgänge sofort als solche erscheinen, sobald wir ein Auge zudrücken über die näheren Details ihres Zustandekommens, also uns gleichsam in ein früheres Stadium unserer Erkenntnis zurückversetzen.

Als Beispiel für den ersteren Fall mag gelten: die Wirkung des Platinmohrs im Döbereiner'schen Feuerzeug oder bei der Essigbildung aus Alkohol oder auch der Schwefelsäure bei der Ätherbildung aus Alkohol — Wirkungen, die vor der Erkenntnis, dass feinverteiltes Platin Sauerstoff zu verdichten vermag, und dass verdichteter Sauerstoff intensivere Oxydationen als gewöhnlicher zu veranlassen im Stande ist, und ebenso vor der Erkenntnis, dass die konzentrierte Schwefelsäure auf den Alkohol zunächst durch Bildung von Schwefelsäureester wirkt, der sich dann wieder in Äther und Schwefelsäure (unter verändertem Wassergehalt der letzteren) umsetzt, als fermentartige Erscheinungen oder auch — durch eine blosse Worterklärung — als katalytische und Kontaktwirkungen aufgefasst wurden oder wenigstens konsequenterweise hätten aufgefasst werden müssen.

Als Beispiel der zweiten Art, das aber, wie gesagt, nur durch den zufälligen Verlauf des menschlichen Erkenntnisprozesses von jener verschieden ist, wollen wir die Wirkung der Salpetersäure bei der Schwefelsäurefabrikation nennen, indem für diese von vornherein eine Erklärung gefunden worden zu sein scheint. Die Salpetersäure, oder besser gesagt das Stickoxyd, dient hier bekanntlich als Sauerstoffträger, indem die in den Bleikammern bestehenden Verhältnisse bald die Bedingungen der Oxydation, bald die einer Spaltung und Abgabe des angeeigneten Sauerstoffs an die schwefelige Säure herstellen. Allein da auch hier die Salpetersäure sich nicht dauernd an der Reaktion beteiligt und dieselbe, theoretisch genommen, unbestimmt grosse Mengen von schwefeliger Säure durch eine beliebig verlängerte Periode in Schwefelsäure überführen kann, so könnte man den Vorgang bei Unkenntnis der Details folgerichtig als eine Fermentwirkung, die Salpetersäure in diesem Falle als einen fermentartigen Stoff bezeichnen. — Ähnlich verhält sich bekanntlich das Jod als Unterstützungsmittel des Chlors beim Chlorieren organischer Substanzen, indem viele solcher Stoffe den Angriffen des ersteren rascher erliegen, während das letztere dann das Jod wieder aus seiner Verbindung austreibt, so dass dieses vorübergehend sich bindend und wieder frei werdend unverändert zu bleiben scheint. Hierauf beruht ja auch wesentlich die Wirkung des Chlorjods in der organischen Chemie.

Endlich giebt die Zincke'sche, durch Friedel und Crafts erläuterte, Reaktion von kleinen Mengen von Metallchloriden auf Kohlenwasserstoffe und organische Chloride ein sehr interessantes Beispiel in der gleichen Richtung ab**).

Ganz genau genommen brauchen wir in solchen Fällen die vorübergehende Reaktion nicht einmal als immer wirklich erfolgend anzunehmen; deren Bedeutung

*) Eine ähnliche und sehr schlagende Bemerkung macht Liebig bezüglich der Wirkung der sogenannten katalytischen Kraft (Annal. d. Pharmacie, 30, p. 149).

**) Vgl. auch die Wallach'sche Erklärung der fermentartigen Wirkung der Blausäure auf verschiedene Umsetzungen in der organischen Chemie. Ber. d. deutsch. chem. Gesellschaft, Jahrg. 10, p. 2120.

liegt vielmehr im Potentiellen, und wir können die Sache mit Hüfner*) viel schärfer so vorstellen, dass wir die chemische Verwandtschaft als eine Resultierende der chemischen Kräfte aller vorhandenen Körper ansehen, so dass auch solchen, welche nicht in die Reaktion eintreten, ein Einfluss auf das Endresultat zugesprochen werden muss. Eine solche Wirkung ist eine katalytische und kann auch im Sinne unserer Darstellung als fermentartige Wirkung bezeichnet werden.

Kurz, die Gruppe der Fermentwirkungen umfasst eine grosse Anzahl chemischer, unerklärter Erscheinungen, die ausser rein negativen Eigentümlichkeiten nur durch unbedeutende positive Merkmale zusammengehalten werden, und die voraussichtlich einer ganz verschiedenartigen Erklärung harren, während die Gärungserscheinungen als eine kleinere noch nicht endgültig erklärte, aber wohlcharakterisierte Gruppe aus jener ausgeschieden sind. Nur die *organisierten Fermente* sind nach der heutigen Fassung *Gärungserreger*, von welchen die *rein chemischen Fermente*, als andersartige Umsetzungen bewirkend, abgetrennt werden. — Als weiterer Unterschied ergibt sich dann noch, dass die *organisierten Fermente*, d. i. die Gärungsorganismen in gärenden Flüssigkeiten *sich selbst fortzuerzeugen und wesentlich zu vermehren im stande sind*, was für die chemischen Fermente ohne jede Ausnahme nicht der Fall ist.

Um nun aber chemische Fermente und Gärungserreger nicht lediglich mit Hilfe von beigefügten Adjektiven voneinander zu unterscheiden und den hieraus entstehenden sprachlichen Barbarismus zu vermeiden, ist man später übereingekommen, das alte und an und für sich doppelsinnige Wort „Ferment“ lieber ganz fallen zu lassen und jene chemischen Körper als *Enzyme* zu bezeichnen und denselben die früher sogenannten geformten Fermente einfach als Gärungsorganismen gegenüberzusetzen.

Im Anschluss an diese Bemerkungen über Enzyme und Enzymwirkungen können wir zweckmässig gleich auf einige derartigen Erscheinungen, welche in den Gärungsgewerben eine wichtige, obwohl sekundäre Rolle spielen, etwas näher eingehen, einmal, um auch Beispiele von solchen Wirkungen vor uns zu haben, und zugleich, um in die Vorgänge bei jenen Gewerben einen vollständigeren Einblick zu gewinnen, als es durch blosse Behandlung der einschlagenden Gärungserscheinungen möglich wäre.

Hierhin sind gehörig die Spaltung von Stärkemehl in Dextrin und wasserreicheren Maltosezucker durch einen im gekeimten Getreide vorhandenen Körper, der wie alle anderen hierhin gehörigen Substanzen bis zu einem gewissen Grade isoliert dargestellt werden kann. Man hat dieses oder vielmehr diese (denn es giebt deren mehrere) wirksamen Enzyme als *Diastas* oder *Diastase* bezeichnet.

* Ein ganz ähnlicher Körper, der eine analoge Wasseraddition für den Rohrzucker bewirkt, ist schon vor längerer Zeit in der Bierhefe aufgefunden worden**) und kann auch in diesem Falle von dem Mutterorganismus getrennt erhalten werden, indem er anderen Zerstörungsgesetzen wie dieser unterliegt. Es ist dies ein Gegenstand, der später noch eine andere Bedeutung für uns gewinnen wird.

*) Chem. Centralbl., 1873, Nr. 28 u. 29.

**) Die erste Mitteilung stammt wohl von Baudrimont u. Dubrunfaut (siehe J. f. pr. Chemie, B. 14, p. 334).

Was zunächst die Enzyme des gekeimten Getreides betrifft, so muss bemerkt werden, dass Stoffe, welche sich dem Stärkemehl gegenüber in der angegebenen Weise verhalten, in allen keimenden Samen, soweit man nach ihnen suchte, nachgewiesen werden konnten, und dass sie nur in den Getreidesamen und unter diesen im Gerstenmalze und gekeimten Roggen besonders reichlich vorzukommen scheinen. Ja, wir können nicht umhin, in allen lebhaft vegetierenden Pflanzenorganen, auch ausserhalb des Keimungszustandes, dergleichen Stoffe anzunehmen, da wir in ihnen Verwandlung von Stärkemehl in Zucker kontinuierlich vor sich gehen sehen, und in mehreren Fällen sind sie auch aus denselben abgeschieden worden.

Diese Enzyme nun lassen sich also von dem Organismus, in welchem sie normalerweise funktionieren, abscheiden und selbständig auf ihre Thätigkeit untersuchen, genau wie dies in den tierischen Verdauungsfermenten möglich ist, die überhaupt zu der sogenannten Diastase die allergrösste, sich zum Teil auf die bewirkte Reaktion selber erstreckende Analogie darbieten.

Wenn man Stärkemehl in Wasser suspendiert, oder in demselben, zu einer scheinbaren Lösung aufgequollen und verteilt, der Wirkung der Diastase aussetzt, so verschwindet, namentlich wenn man höhere Temperaturen anwendet — das Optimum wird bei 65–69° C. angenommen —, die Fähigkeit der Flüssigkeit die Jodreaktion zu bewirken, und nach kurzer Zeit wird nur Maltosezucker und Dextrin in derselben vorgefunden*). Eine in dieser Richtung wirksamste Diastase wird gewonnen durch wiederholte Fällung eines Malzauszuges durch starken Alkohol, wie überhaupt die Reindarstellung der Enzyme, soweit dieselbe möglich ist, auf deren wiederholter Fällung durch Alkohol beruht oder zusammen mit anderen langsam entstehenden Niederschlägen geschieht, während sie alle in Wasser und in Glycerin löslich sind. Am besten erwärmt man vorher noch auf etwa 70°, da bei dieser Temperatur einige Eiweissstoffe niederfallen, die kein Enzym mit sich reissen und im Falle ihrer Anwesenheit als Ballast für die Darstellung dienen würden. Die so gewonnene Diastase zeigt im wesentlichen die Eigenschaften der Proteinstoffe, denen sie vielleicht anhaftet, und es geschieht wesentlich mit aus diesem Grunde, dass man sie und andere Enzyme als stickstoffhaltige Körper zu bezeichnen pflegt**).

Neue Untersuchungen haben, wie schon angedeutet, mit zwingender Evidenz ergeben, dass es mehrere diastatische Enzyme giebt***), die mehr oder weniger miteinander vermischt vorkommen und von denen das eine mehr Dextrin, das andere mehr Maltose bildet und welche daher Dextrinase und Maltase genannt worden sind. Doch hat diese interessante Komplikation, welche noch viel weiter geht als hier angedeutet, keinen Einfluss auf die grundlegenden Auseinandersetzungen, mit welchen

*) Der Vorgang wurde in seinen Hauptzügen und als ausgehend von einem im keimenden Samen auf Kosten von Proteinstoffen sich bildenden Stoffe von Payen und Persoz zuerst erkannt. Vgl. Ann. d. Chim. et de Phys., T. 53, p. 73. Kirchhoff in Petersburg soll allerdings schon früher eine ähnliche Beobachtung gemacht haben.

**) Vgl. in Bezug auf weitere Details in der Darstellungsweise der Enzyme die ausführliche Monographie des Verfassers: Die Lehre von den chemischen Fermenten, Heidelberg 1882.

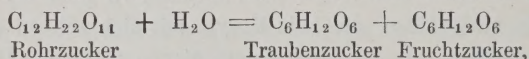
***) Vgl. Wijsman: Die Diastase, Amsterdam 1889.

wir uns augenblicklich beschäftigen, — eine um so grössere Bedeutung haben sie freilich für die Praxis, indem die Bevorzugung der einen oder der anderen Wirkung, z. B. für das eine Enzym günstiger durch Anwendung bestimmter Temperaturen, die beinahe ausschliessliche Erzeugung von Maltose im Interesse der Fabrikation dieses Kohlenhydrats gestattet.

Was die chemische Natur der Enzymprozesse angeht, so kann ganz allgemein behauptet werden, dass dabei ein grösseres Molekül unter Aufnahme von Wasser in mehrere kleinere zerfällt. Eines der Produkte des diastatischen Prozesses, die Maltose, ist wasserreicher als die Stärke, das andere, das Dextrin, wenigstens nicht wasserärmer.

Wasseraddition und Spaltung, sogen. Hydrolyse, wird also durch das fragliche Enzym bewirkt, so dass das Stärkemehl seiner Konstitution nach wie ein Äther erscheint, der unter Wasseraufnahme in die konstituierenden Alkohole zerfällt. Es ist von Interesse zu konstatieren, dass auch andere pflanzlichen Enzyme, wie jenes aus den Mandeln, welches den Namen „Emulsin“ erhalten hat, genau ein Gleiches an gewissen analog konstituierten Körpern, den Glycosiden, bewirken. Diese letzteren kann man als gemischte Äther bezeichnen, deren eines konstituierende Element ein Zucker (eine Glycose) ist, während das andere sehr verschiedener Natur sein kann. Wenn Amygdalin, Salicin oder irgend ein anderes Glycosid zerfällt, was, soviel man weiss, auch unter Einfluss spezifischer Enzyme vor sich geht, so findet regelmässig auch Wasseraddition und Zerspaltung in Zucker und einen andern Körper statt.

Auch das eigentümliche Enzym des Hefepilzes*), welches selbständig aus diesem gewonnen werden kann und das als „Invertin“ bezeichnet worden ist, spaltet den Rohrzucker unter Wasseraddition in Traubenzucker und Fruchtzucker (in das Gemisch, welches man mit dem besonderen Namen Invertzucker belegt) nach der Gleichung:



woraus ebenso ein deutliches Licht auf die Konstitution des ersteren geworfen wird.

Später hat man dann noch ausser dem Invertin andere Enzyme, welche andere Di- oder Polysaccharide in direkt vergärungsfähige Glycosen zerspalten, in den Hefen aufgefunden und diejenige, welche Milchzucker invertiert, Lactase, die, welche Maltose invertiert, Glucose genannt. Der Gehalt bestimmter Hefesorten an solchen Enzymen scheint in allen Fällen darüber zu entscheiden, ob die entsprechenden Polysaccharide durch sie vergärungsfähig sind oder nicht. In der gewöhnlichen Bierhefe konnte z. B. ausser Invertin auch Glucose nachgewiesen werden**).

*) Auch die verschiedenartigsten Schimmelpilze scheinen das gleiche Enzym zu erzeugen. Wenigstens findet in von Schimmel befallenen Rohrzuckerlösungen bekanntlich Invertierung statt. Dagegen giebt es, wie wir später sehen werden, einzelne echte Hefepilze, denen dies Enzym abgeht, und die daher nur Glycosen zu vergären vermögen.

**) Vgl. namentlich E. Fischer u. Paul Lindner: Chem. Ber., 1895, p. 984, worin unter anderem nachgewiesen wird, dass der *Schizo-Saccharomyces octosporus* Beijerinck's kein Invertin, wohl aber Glucose bereitet und umgekehrt der *S. Marxianus* Hansen's genau entsprechend der Zugänglichkeit der Substrate für die durch jene eingeleitete Gärung. Vgl. über Hefespezies Vorl. 6 u. 7.

Manche Bakterienarten wirken unmittelbar auf Stärkemehl oder gar auf Zellstoff ein und deshalb muss man in ihnen einen Gehalt an diastaseähnlichem Enzym voraussetzen. Andere (oder dieselben) scheiden pepsinartige Enzyme ab, wodurch sie Eiweissstoffe peptonisieren.

Auch bezüglich der Temperatur, innerhalb deren jene verschiedenen Pflanzenenzyme ihre Wirksamkeit ausüben, scheint eine grosse Übereinstimmung zu bestehen, so wenig freilich dieser Gegenstand bis jetzt noch eine erschöpfende experimentelle Erörterung erfahren hat. Die Diastase vollzieht innerhalb der lebenden Pflanzen die ihr übertragenen Funktionen offenbar bei all den Temperaturen, bei welchen diese Organismen zu keimen vermögen, wodurch schon ein erheblicher Spielraum gewährt ist. Das Optimum der Fermentwirkung liegt indessen, wie wir gesehen haben, weit oberhalb der für die Pflanzen erträglichen Temperaturen. Wenig jenseits dieser Temperatur und noch unter dem Siedepunkt des Wassers wird dann das Enzym als solches zerstört.

Ganz ähnlich scheint die Sache zu liegen bei dem Enzym der Bierhefe. Es ist zwar für diese Substanz die für die Wirkung günstigste Temperatur erheblich niedriger gefunden worden*), aber doch höher als das Optimum der Wirkung ihres Mutterorganismus, und auch dessen Tötungstemperatur liegt niedriger als die der Diastase, aber wieder erheblich höher**) als die Tötungstemperatur des Hefepilzes selber, so dass die Analogie zu dem Verhalten der Diastase ins Auge springt. Trocken können die Enzyme noch weit höhere Temperaturen ertragen und manchmal ohne Schaden bis auf 160° erhitzt werden (Alex. Schmidt).

Mit dieser Unempfindlichkeit der bloss chemisch wirkenden Fermente gegen höhere Temperaturen steht deren noch auffallendere Widerstandsfähigkeit gegen Gifte und gärungshemmende Substanzen in einem gewissen Zusammenhang. Im allgemeinen kann man hier die Mitteilung machen, dass z. B. die meisten Hefegifte das Invertin und Diastase, und ebenso die Enzyme tierischen Ursprungs unbehelligt lassen.***)

Was die Zusammensetzung des Invertins angeht, so hat Donath†) in dem Körper, der aus dem wässrigen Extrakte vorher mit Alkohol behandelter Hefe mittelst Äther als froschlauchartige Masse ausgeschüttelt worden war, nur etwas über 9% Stickstoff gefunden. Ähnliche und noch extremere Angaben bestehen auch für die Diastase††), deutliche Merkmale dafür, dass wir es in den Enzymen nicht einfach mit Stoffen aus der Proteingruppe zu thun haben.

Wir haben es also in der Wirkungsweise vorerst der bekanntesten pflanzlichen Enzyme mit einer ziemlich weit gehenden Analogie zu thun, die sich ebenso auch auf die tierischen erstreckt.

Man ersieht zugleich aus dieser näheren Behandlung, die wir einigen praktisch wichtigen chemischen Fermentwirkungen haben angedeihen lassen, wie wenig die-

*) Die Lehre von den chemischen Fermenten, p. 64.

**) Ebenda p. 23 u. 69.

***) Ebenda p. 43.

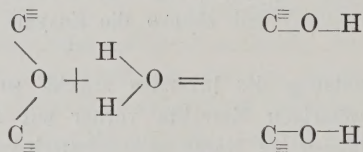
†) Deutsch. chem. Berichte, Bd. 8, p. 795.

††) Lehre v. d. chemischen Fermenten, p. 19.

selben begrifflich zusammenfallen mit den im engeren Sinne des Wortes als solche bezeichneten Gärungserscheinungen, und wie es entschieden ein Missgriff war, wenn man früher die Wirkung der Diastase als „Stärkemehlgärung“ bezeichnete. Man kann für die gleichen Begriffe ja sehr verschiedene Ausdrücke wählen, aber das ist doch mindestens von einer logischen Bezeichnungsweise zu verlangen, dass für begrifflich Auseinanderzuhaltendes auch sprachlich Unterscheidungen bestehen, und dass Gegenstände, die auf dem mühsamen experimentellen Wege voneinander getrennt wurden, nicht wieder durch einen leichtfertigen Sprachgebrauch miteinander vermengt werden.

Ein weiterer bedeutender Unterschied besteht darin, dass für alle echten Gärungserscheinungen ein viel tiefer gehender Chemismus charakteristisch ist. Wir werden ganz am Schlusse unserer Betrachtungen*) hervorzuheben haben, dass bei einer jeden eigentlichen Gärungserscheinung, die bekannten Fäulnisvorgänge mit eingeschlossen, eine Neugruppierung der Atome in der Weise eintritt, dass eine bestimmte Vermehrung der Bindungen zwischen Kohlenstoff und Sauerstoff eintritt. Daher das ausnahmslose Auftreten von Kohlensäure an der Stelle von organischen Säuren und neutralen Körpern oder das Auftreten von Säuren auf Kosten der letzteren.

Bei den bis jetzt bekannten Wirkungen der chemischen Fermente oder Enzyme hat nichts von alledem Platz. Bei der Hydrolyse, dem Zerfall der Anhydride und gemischten Äther in die betreffenden Hydrate der Säuren und in Alkohole, worauf, wie wir vermuten dürfen, alle diese Wirkungen sich zurückführen lassen, bleibt die Qualität der Bindungen unverändert. Wenn man vor und nach Vollzug der betreffenden Vorgänge zusammenzählt, wieviel der Wertigkeiten der vorhandenen Sauerstoffatome beispielsweise an Kohlenstoff und an Wasserstoff gebunden sind, so bleibt die Summe je einer einzelnen Klasse solcher Bindungen unverändert, wie dies wohl an dem folgenden Schema deutlich werden wird:



vor der Umsetzung ($2\text{C}=\text{O} + 2\text{H}=\text{O}$), nach der Umsetzung ($2\text{C}-\text{O} + 2\text{H}-\text{O}$).

Das Symbol $\text{C}-\text{O}$ bedeutet das Vorkommen einer Bindung zwischen den beiden Elementen.

Dass trotzdem durch eine derartige chemische Verwandlung eine Änderung der gesamten chemischen Arbeitsmenge veranlasst werden kann, ergibt sich einfach daraus, dass nicht eine jede Affinität zwischen zwei bestimmten Elementen einander gleich ist. Die rechte Seite der Gleichung drückt in allen für Fermentwirkung zugänglichen Fällen eine befriedigtere Sättigung aus, weil ein O-Atom auf der einen Seite an H gebunden eine relativ grössere Affinität für C besitzt und umgekehrt. Man erkennt, dass in dieser Richtung die beiden Formeln für Anhydrid und Hydroxyde sich keineswegs decken. Diese Erfahrung der Ungleichwertigkeit scheinbar gleichartiger Bindungen, m. a. W. der Einfluss benachbarter, nach allen ihren zähl-

*) Vergl. Vorlesung 12.

baren Wertigkeiten schon gesättigter, Atome auf die Stärke einer noch freien Affinität macht sich bekanntlich durch die ganze Chemie hindurch überall geltend.

So kommt es, dass in dem vorliegenden Falle ein wirklich exothermischer Vorgang*) vorliegt, der ohne das Vorhandensein von äusseren Kräften niemals und darum auch nicht durch chemische Fermente umgekehrt werden kann. Allein die chemischen Arbeiten, die hierbei zur Sprache kommen, sind relativ unbedeutend gegenüber den viel bedeutenderen Molekülumwälzungen, welche den echten Gärungserscheinungen eigentümlich sind.

Auch in diesem Teile der Vorlesungen beabsichtigen wir jeweils am Schlusse eines oder mehrerer zusammengehöriger Vorträge den Hauptinhalt derselben in wenigen und kurzen Sätzen zusammenzufassen. Die Vorzüge eines solchen Verfahrens für das Festhalten des Besprochenen im Gedächtnis und für die selbständige Prüfung des Hingestellten auf seine thatsächlichen Belege sind zu bekannt, um hier einer Anpreisung zu bedürfen. Als Ergebnis unserer heutigen Betrachtungen wird im wesentlichen etwa folgendes angesehen werden können:

1. Gärungserscheinungen sind seit den ältesten Zeiten, auf welche historische Nachrichten zurückgehen, bekannt gewesen und technisch benutzt worden.

2. Der Begriff von Gärung ist ursprünglich ein populärer und war daher zu Anfang der wissenschaftlichen Behandlung noch nicht völlig festgestellt, indem in Bezug auf das Wesen der dahin gehörigen Erscheinungen lange Meinungsverschiedenheiten bestanden.

3. Die Gärungserscheinungen können jedoch nunmehr, und mit grosser Sicherheit diejenigen, welche in den landwirtschaftlichen Gewerben eine Rolle spielen, definiert werden als *chemische Veränderungen gelöster organischer Substanzen, veranlasst durch niedrige chlorophyllfreie Organismen* (Pilze, Bakterien).

4. Die Gärungserreger sind mithin sogenannte *organisierte* Fermente, während der Begriff von Ferment überhaupt eine unbestimmte und zur Zeit über das Gebiet der Gärungserscheinungen hinausgehende Bedeutung hat.

5. Unter *chemischen* Fermentwirkungen, besser *Enzymwirkungen*, versteht man noch unerklärte, aber jedenfalls von lebenden Organismen unabhängige chemische Veränderungen, veranlasst durch Stoffe, welche sich dauernd nicht bemerklich an der bewirkten Reaktion beteiligen. Die letzteren werden als Enzyme bezeichnet.

6. Höhere und niedere Organismen erzeugen solche Enzyme, und es vermögen diese getrennt von jenen ihre Wirksamkeit auszuüben.

7. Das bekannteste unter den pflanzlichen Enzymen ist die Diastase, welche eine Spaltung des Stärkemehls in ein Gemisch von Dextrin und Maltose unter Wasseraufnahme bewirkt.

8. Die chemische Umsetzung durch Enzyme ist wenig tiefgreifend und beschränkt sich auf Spaltung von Molekülen unter Wasseraddition, während durch Gärungen tiefergreifende Umsetzungen mit vollständigerer Sättigung des Kohlenstoffs gegen Sauerstoff bewirkt werden.

*) Vgl. dieses Lehrb. I, p. 29.

Zweite Vorlesung.

Die chemischen Vorgänge bei der alkoholischen Gärung.

Die best studierte Gärungserscheinung ist die alkoholische Gärung*), und sie ist es zugleich, welche die grösste praktische Bedeutung in Anspruch nimmt. Das Wesen der alkoholischen Gärung besteht bekanntlich darin, dass durch sie süsse Flüssigkeiten ohne weiteres Zuthun in solche von berauschender Wirkung übergehen; zugleich zeigt sich eine mächtige Gasentwicklung. Weil berauschende und moussierende Getränke zu allen Zeiten vom Menschengeschlechte geliebt worden sind, hat man schon sehr frühe versucht, den Vorgang willkürlich einzuleiten und eigene Gewerbe auf denselben zu begründen.

Diese Erscheinung ist es nun, deren Betrachtung wir uns speziell zuwenden, und die wir zunächst chemisch zu erörtern beabsichtigen; d. h. wir wollen die bis dahin erkannten chemischen Veränderungen studieren, welche eine in alkoholischer Gärung befindliche Flüssigkeit erleidet. Wir können in Bezug auf diesen einzelnen Gegenstand den erst verlassenen historischen Faden der Aufeinanderfolge der Entdeckungen wieder aufnehmen.

Lavoisier, der Schöpfer der modernen Chemie, suchte schon, dem von ihm neu in die Wissenschaft eingeführten Prinzipie treu, dem Vorgang bei der alkoholischen Gärung mit der Wage in der Hand zu folgen und sogar schon eine Art von Gärungsgleichung aufzustellen. Ihm war bekannt, dass bei derselben im wesentlichen Zucker verschwand, während Weingeist und Kohlensäure und, wie er glaubte, auch Essigsäure regelmässig neu gebildet wurde. Er hielt damit den Vorgang, der sich ihm darstellte als die Spaltung eines Oxyds in sauerstoffärmere und -reichere Stoffe, im wesentlichen für erschöpft und glaubte auch die Hefe, als nicht bemerkbar in die quantitativen Verhältnisse des Vorgangs eingreifend, unberücksichtigt lassen zu können. Es handelte sich also für ihn nur darum, die Zusammensetzung der beteiligten Substanzen zu kennen, und ausserdem, sich über das Verhältnis ihres Verschwindens und Neuentstehens Aufschluss zu verschaffen.

Die Frage war richtig gestellt, aber die technische Ausführung musste bei dem damaligen Zustande der analytischen Chemie scheitern. So gelangte Lavoisier zu einer grundfalschen Gärungsgleichung, die nur deshalb ein gewisses Interesse besitzt, weil die Fehler sich zufällig in einer Weise decken, dass doch die Bilanz der elementaren Bestandteile befriedigend war und scheinbar eine endgültige Beantwortung erzielt wurde. Das von Lavoisier erlangte Resultat kann durch folgende Zahlen dargestellt werden:

*) Früher scheint „geistige Gärung“ der gebräuchliche Ausdruck gewesen zu sein, dem im Jahre 1787 von Fourcroy aus einem eigentümlichen Grunde die Bezeichnung Alkoholgärung substituiert wurde (Ann. d. Chim. [1] T. 31, p. 309).

			Kohlenstoff.	Wasserstoff.	Sauerstoff.
Vor der Gärung:	Zucker	100	32,9	10,1	57,0
	Wasser	9,7	—	1,5	8,2
	Zusammen	109,7	32,9	11,6	62,2
Nach der Gärung:	Alkohol	59,1	16,8	10,3	32,0
	Kohlensäure	50,6	14,2	—	36,4
	Zusammen	109,7	31,0	10,3	68,4 *).

Ausserdem bemerkt Lavoisier, dass die Flüssigkeit nach der Gärung von einem geringen Gehalte an Essigsäure sauer reagiere, und dass daher auch diese Säure mit zu den normalen Gärungsprodukten gehöre, welcher Thatsache er jedoch in der hier reproduzierten Gärungsgleichung keinen Ausdruck giebt.

Allerdings stimmt das Resultat für neuere Anforderungen schlecht genug; ausserdem ist es leicht zu ersehen, dass selbst diese scheinbare Übereinstimmung nur durch sich in merkwürdiger Weise ausgleichende Fehler zu stande kommt.

Wir schweigen davon, dass Essigsäure kein normales Produkt (wenigstens bei weitem nicht in den von Lavoisier konstatierten Verhältnissen) der alkoholischen

*) Zu dieser Berechnung wurden die Angaben aus *Euvres de Lavoisier*, 1864, T. III, p. 780 u. 783 benutzt. Vgl. auch ebenda T. II, p. 356. Auf etwas anderen Angaben fussend, berechnete Kopp (*Geschichte d. Chemie*, IV, p. 207) folgende Zahlen, in denen das quantitative Auftreten der Essigsäure mit berücksichtigt wird:

		C	H	O
Vor der Gärung:	Zucker	95,9	= 26,8	+ 7,7 + 61,4
Nach der Gärung:	Alkohol	57,7	= 16,7	+ 9,6 + 31,4
	Kohlensäure	35,3	= 9,9	+ — + 25,4
	Essigsäure	2,5	= 0,6	+ 0,2 + 1,7
	Zusammen	95,5	= 27,2	+ 9,8 + 58,5.

Dieser Darstellung liegt unzweifelhaft ein späterer Versuch Lavoisier's (*Euvres* I, p. 101 u. f.) zu Grunde, dessen Resultat in unsere Gewichte umgerechnet sich folgendermaassen ergibt:

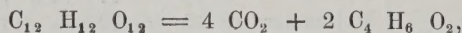
		C	H	O	N
Vor der Gärung:	Wasser	407	= —	61	346 —
	Zucker	100	= 28	8	64 —
	Hefe	2,8	= 0,8	0,3	1,7 0,03
Nach der Gärung:	Wasser	409	= —	61	348 —
	Alkohol	58	= 17	9,5	31,5 —
	Kohlensäure	35	= 10	—	25 —
	Zucker	4	= 2,6	0,3	1,1 —
	Essigsäure	2,5	= 0,7	0,1	1,7 —
	Hefe	1,4	= 0,4	0,1	0,8 0,02.

Diese Gleichung würde vielleicht als die neuere und als eine das Auftreten aller einzelnen beobachteten Gärungsprodukte berücksichtigende den Vorzug verdienen. Dagegen findet in ihr die von Lavoisier ermittelte und für den Rohrzucker auch bis zu gewissen Verhältnissen richtige Thatsache, dass Wasser bei der Gärung mit zerlegt wird, keinen Ausdruck. Über Lavoisier's Untersuchungen vgl. noch dessen *Éléments de Chimie*, I, p. 139, 2me édition; *Ann. d. Chimie* (1) T. 2, p. 238 u. T. 36, p. 116.

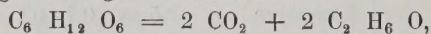
Gärung ist; denn deshalb hätte die analytische Ermittlung doch richtig sein können, wenn dann auch das Resultat nur für schlecht geleitete Gärungsprozesse maassgebend gewesen wäre. Die fehlerhaften Angaben über den Verlauf der Gärung werden merkwürdigerweise nahezu korrigiert durch die unrichtigen Annahmen über Zusammensetzung der einzelnen Gärungsprodukte und des Zuckers selbst. Für diesen wird viel zu wenig Kohlenstoff, viel zu viel Sauerstoff angegeben. Der Alkohol war im absoluten Zustande noch nicht bekannt und darum in demselben auch nicht analysiert worden; es darf uns daher nicht wunder nehmen, auch den Alkohol mit einem zu niedrigen Kohlenstoffgehalt aufgeführt zu sehen. Die Zusammensetzung der Kohlensäure ist ziemlich richtig angegeben, aber ganz unterlassen, zu berücksichtigen, dass sie bei der quantitativen Ermittlung mit Wasserdämpfen gemischt gemessen wurde. — Durch diese verschiedenartigen und in verschiedener Richtung sich geltend machenden, obwohl für die damalige Zeit sehr natürlichen, Fehler kam die Deckung zu stande. Namentlich aber kompensierten sich die unrichtigen Analysen des Zuckers und des Alkohols.

Gleichzeitig mit Lavoisier hat sich auch Cavendish mit der quantitativen Ermittlung wenigstens der bei der alkoholischen Gärung entstehenden Kohlensäure mit gutem Erfolge beschäftigt*), ohne dass die hierauf fussenden Mitteilungen weiter beachtet worden wären.

Was dem Begründer der quantitativen Methode in der Chemie aus technischen Gründen noch nicht möglich war, erwies sich für seine Nachfolger, die auch das Handwerk der Chemie nach Gebühr auszubilden begonnen hatten, als ein Leichtes. Durch Thénard, Gay-Lussac, de Saussure wurden an der Grenzscheide und in den ersten Jahren unseres Jahrhunderts zuverlässige Analysen über Analysen der gewöhnlichsten organischen Substanzen angestellt. Zucker und Alkohol wurden so ihrer Zusammensetzung nach genau bekannt, ebenso wurde für die alkoholische Gärung erkannt (ohne dass bekanntermaassen genaue Studien über dieselbe gemacht worden wären), dass Essigsäure nicht zu deren normalen Gärungsprodukten in irgend erheblichem Maassstabe gehöre und endlich, dass der Alkohol schon vor der Destillation in den vergorenen Flüssigkeiten präexistiere, woran trotz Lavoisier noch von vielen Seiten gezweifelt worden war**). Kurz, eines Tages stellte Gay-Lussac — offenbar mehr geleitet durch die Kombination, dass es so sein müsse, als durch einen direkten Versuch — die bekannte und jetzt noch in den meisten Lehrbüchern figurierende Gärungsgleichung auf, die kurz darauf in den gebräuchlich gewordenen chemischen Zeichen also formuliert wurde:



oder in die jetzt gültigen Atomgewichte übersetzt:



eine chemische Gleichung für den Verlauf der alkoholischen Gärung, die in der That der Wahrheit sehr nahe kommt und heute noch als ein bequemer Ausdruck für die ungefähre Wahrheit einige Bedeutung hat.

*) Ann. d. Chim. (1) T. 14, p. 66 u. Kopp: Geschichte d. Chem., IV, p. 296.

**) So von Fabroni und selbst von Berthollet, bis Gay-Lussac 1813 den Beweis führte.

Es darf allerdings dabei nicht unberücksichtigt bleiben, dass diese Gleichung für die Vergärung des Rohrzuckers*) gelten sollte, während sie nur für die Vergärung der Glycose (Trauben- und Fruchtzucker) die nahezu richtige ist; denn der Rohrzucker hat ja bekanntlich eine etwas andere Zusammensetzung, nämlich nur 11 Wasser- auf 12 Kohlenstoff, wie nachmals von Dumas und Boullay im Jahre 1828 gefunden worden ist**). Allein das ist im Grunde gegenüber dem Fortschritte seit Lavoisier doch nur ein geringfügiger Irrtum.

Wir wollen nun die Gay-Lussac'sche Gärungsgleichung mit der Korrektion, die für die falsche Formel des Rohrzuckers notwendig ist, in der gleichen Form der Lavoisier's gegenübersetzen, um die Unrichtigkeit dieser nochmals ins rechte Licht zu stellen.

			Kohlenstoff.	Wasserstoff.	Sauerstoff.
Vor der Gärung:	{ Rohrzucker	95	40	6,1	48,9
	{ Wasser	5	—	0,5	4,5
oder Traubenzucker		100	40	6,6	53,4
Nach der Gärung:	{ Alkohol	51,1 (51,34***)	26,7	6,6	17,8
	{ Kohlensäure	48,9 (48,66)	13,4	—	35,6
Summa		100	40,0	6,6	53,4.

Was die neueren Entdeckungen an dieser Gärungsgleichung noch veränderten, bezieht sich nur noch auf das Erscheinen anderer chemischen Stoffe bei dem Vorgang. Für den idealen Zerfall des Zuckers in Alkohol und Kohlensäure geradeauf ist diese Gleichung endgültig richtig und daher ein Maassstab für die frühere unrichtige Formulierung desselben.

Da während der Gärung ein spezifisch schwererer Körper (schwerer wie das Wasser) verschwindet und bei dem Entweichen des grössten Theils der entstehenden Kohlensäure hauptsächlich durch den spezifisch leichteren Alkohol ersetzt wird, so findet natürlich während der Gärung eine proportional mit derselben verlaufende Verminderung des spezifischen Gewichts statt, das schliesslich beim Weine z. B. selbst unter das Gewicht des Wassers fallen kann. Natürlich kann man diese regelmässige Abnahme des spezifischen Gewichts als einen Maassstab gebrauchen für den Grad der Vergärung, und selbst durch Ermittlung der betreffenden Koeffizienten aus dieser beobachteten Abnahme den Alkoholgehalt berechnen. Die Lehre, welche sich mit der Feststellung dieser Verhältnisse beschäftigt, heisst die *Attenuationslehre* und ist beinahe ganz von dem deutschen Gärungstechniker Balling ausgearbeitet worden. Doch ist in keinem Falle ein ganz feststehender Alkoholkoeffizient zu gebrauchen, da durch Kontraktionserscheinungen zwischen Wasser und den darin gelösten Körpern, die bei verschiedener Konzentration etwas verschieden sind, und infolge der gleich-

*) Gay-Lussac hatte trotz einer richtigen Analyse, seinen eigenen Beobachtungen misstrauend und geleitet durch das Prinzip der Einfachheit, die Zusammensetzung des Rohrzuckers unrichtig angenommen.

**) Ann. Chim. et Phys., B. 37.

***) Die eingeklammerten Zahlen sind die wirklich von Gay-Lussac angegebenen; vgl. hierüber und über das Vorhergehende Ann. d. Chim. (1) T. 95, p. 311.

zeitig verlaufenden Intervertierungserscheinungen die Veränderung nicht genau proportional der Alkoholbildung fortschreitet. Es sind daher empirisch festgestellte Tabellen nötig, um den anwesenden Alkohol auf diese Weise zu berechnen. Im übrigen kann man beim Gebrauchmachen von denselben einen für praktische Zwecke sehr genügenden Grad von Genauigkeit erreichen. Hat man nicht das ursprüngliche spezifische Gewicht der vergorenen Flüssigkeit zur Vergleichung zur Verfügung, so kann man sich auch so helfen, dass man die vergorene Flüssigkeit kocht, mit Wasser den weggekochten Alkohol ersetzt und mit Hilfe von anderen Tabellen aus der nun wahrgenommenen Vermehrung des spezifischen Gewichts den Alkohol berechnet. Die Differenz bei dem ersteren Verfahren der Berechnung heisst die scheinbare Attenuation, die andere die Attenuationsdifferenz. Drittens kann man auch für die wirkliche Attenuation, das Spezifischleichterwerden nach dem Wegkochen des Alkohols, den Alkoholkoeffizient gebrauchen. Das hat aber praktisch wenig Bedeutung, wie überhaupt die ganze prinzipiell so einfache Methode in etwas doktrinäer Weise zu einem abschreckend mathematischen Systeme aufgebauscht worden ist.

Die Gay-Lussac'sche Gärungsgleichung hat, wie wir schon angedeutet haben, durch eine sehr lange Zeit hindurch Geltung gehabt, namentlich wenn wir die Länge dieser Periode an den in ihr geschehenen chemischen Thaten bemessen. Den Sturz von wieviel Theorien, den Wechsel von wieviel Meinungen hat dieselbe nicht überlebt? — Allein zuletzt sprach für sie in ihrer ganzen Schärfe doch nur Gewohnheit und Bequemlichkeit; denn es waren mit der Zeit einige Thatsachen bekannt geworden, welche zeigten, dass durch sie nicht der ganze Chemismus der alkoholischen Gärung ausgedrückt sei. Diese Thatsachen in der Reihenfolge ihrer Entdeckung haben wir nun zu besprechen.

Zunächst wurde mehrmals die gleichzeitige Entstehung einer organischen Säure während der geistigen Gärung behauptet. Wir haben gesehen, wie schon Lavoisier die Bildung von Essigsäure in erheblichen Mengen als normalen Vorgang ansah. Diese Meinung wurde freilich bald widerlegt, wenigstens eine Essigbildung in dem Umfange nicht mehr anerkannt. Aber man fand doch bei einer jeden alkoholischen Gärung die saure Reaktion um ein wenig zunehmend, und da man bei unreinen Gärungen Essigbildung und Milchsäuregärung häufig vermischt mit der alkoholischen beobachtet hatte, so wurde auch für die reine alkoholische Gärung eine gleichzeitige Bildung von Essigsäure**) oder von Milchsäure***) zweier Körper, die man zu Anfang des Jahrhunderts selbst nicht streng auseinander zu halten wusste, angenommen, gelegentlich auch wieder bestritten, ohne dass diese vorübergehender Anschauungen indessen einen Einfluss auf die Formulierung der Gärungsgleichungen gewannen.

Auch die Hefevermehrung oder -verminderung, die mehrmals in früher Zeit, wie wir später sehen werden, Gegenstand eifriger Debatten gewesen ist, blieb

*) Siehe nähere Details in Muspratt's Chemie, 3. Aufl., I, p. 197.

**) Thénard: Ann. d. Chimie (1) T. 46, p. 318.

***)) Wohl infolge einer Mitteilung von Dubrunfaut, der das Auftreten von viel Milchsäure bei der Gärung des Runkelrübensaftes beobachtete. Auch Dumas hatte eine dahin gehende Angabe gemacht.

ohne Einfluss auf die Gestaltung der Gärungsgleichung und vielleicht mit einigem Grunde, da man den Prozess der Hefebildung lange Zeit als etwas Nebenhergehendes, nicht auf Kosten des Zuckers Erfolgendes, zu betrachten sich berechtigt glaubte.

Auch einige untergeordneten Errungenschaften für den in Rede stehenden Gegenstand haben wir aus jener selben Zeit noch zu verzeichnen, so den Nachweis Thénard's*), dass der Kohlenstoff der während der Gärung ausgegebenen Kohlensäure unmöglich aus der Hefe stammen könne, wie dies wenige Jahre vorher noch Fabroni im Hinblick auf seine Gärungshypothese gewollt hatte. Indessen ist dieser Satz ja geradezu eine Voraussetzung für die Aufstellung der Gay-Lussac'schen Gleichung. Wir gehen überhaupt auf die einzelnen Phasen des Standes der wissenschaftlichen Erkenntnis in jenen älteren Perioden nicht ein.

Ein wesentlicher und endgültiger Fortschritt wurde in der Chemie des Gärungsprozesses erst wieder im Jahre 1860 durch Pasteur gemacht, dem wir auch in mehreren anderen Richtungen eine noch viel wichtigere Förderung in der Erkenntnis des fraglichen Vorgangs verdanken, — ein Fortschritt, der wirklich einen Umsturz der alten Gärungsgleichung bewirkte, wenn wir uns freilich derselben auch jetzt noch häufig der Bequemlichkeit halber bedienen, wo es sich nicht gerade um grosse Strenge handelt. Pasteur bewies durch genaue quantitative Versuche mit normal vergärenden Zuckerlösungen, dass nicht geradeauf eine Zerspaltung des Zuckers in Alkohol und Kohlensäure statthabe, sondern dass daneben noch regelmässig einige anderen Körper, von denen er zwei ihrer chemischen Individualität nach identifizierte, Entstehung nähmen. Zugleich wurde auch die Veränderung der Hefe während der Gärung den quantitativen Verhältnissen nach in Betracht gezogen und bewiesen, dass der Zuwachs derselben zum Teil auf Kosten des Zuckers erfolge, und diese Thatsache bei Aufstellung der Gärungsgleichung berücksichtigt.

Es gelang Pasteur, nach einem von ihm ausgearbeiteten Verfahren**) im Durchschnitt etwa 2,5 bis 3,6 Prozent Glycerin, $C_3 H_8 O_3$, und 0,4 bis 0,7 Prozent Bernsteinsäure, $C_4 H_6 O_4$, vom Gewichte des vergorenen Zuckers zu sammeln. Durch welche Umstände die konstatierten Schwankungen bestimmt sind, werden wir sogleich anzudeuten haben. Natürlich musste zu gleicher Zeit der Beweis geliefert werden, dass es sich auch in allen diesen Fällen nur um *normale* alkoholische Gärungen

*) Thénard: A. a. O., p. 300, Anm.

**) Vgl. A. Fitz: Berliner Berichte, 1873, p. 57. Die vergorene Flüssigkeit wird durch Abfiltrieren von der Hefe getrennt, sehr langsam eingedampft und auf diese Weise vom Alkohol und der Kohlensäure befreit. Zur Reinigung und Trennung wurde folgendes Verfahren eingeschlagen: Mit einem Gemisch von Alkohol und Äther wurde ausgezogen, in welchem die Bernsteinsäure sowohl als das Glycerin löslich sind. Die Bernsteinsäure wurde alsdann im Rückstande durch Zusatz von Kalkwasser an Kalk gebunden und zur Gewinnung des Glycerins wieder mit einem solchen alkoholischen Gemische ausgezogen, die Bernsteinsäure als krystallisiertes Kalksalz gewonnen. Handelt es sich um eine genaue quantitative Bestimmung, so müssen die Operationen mit gewissen hier nicht näher zu beschreibenden Vorsichtsmaassregeln, das Eindampfen des Glycerinauszugs z. B. im luftleeren Raume vorgenommen werden. — Später wurde die Glycerinbestimmung durch Clausnitzer u. a. verbessert. Vgl. Zeitschr. f. anal. Chemie, XX, p. 58.

und nicht um gleichzeitig verlaufende andersartige Gärungsprozesse handeln konnte*). Dieser Beweis wurde denn auch beigebracht, nicht bloss durch die grosse Regelmässigkeit, mit welcher unter allen Umständen annähernd dieselben Mengen der neu aufgefundenen Gärungsprodukte erhalten wurden und mit welcher selbst nach Veränderung der gegebenen Bedingungen die geringen Verschiedenheiten sich in einer und derselben Richtung bewegten, sondern hauptsächlich durch mikroskopische Beobachtung der die Gärung veranlassenden Organismen, von denen wir später ausführlich zu reden haben werden. Auch haben spätere Forscher, welche in dieser Beziehung über weit schärfere Hilfsmittel verfügten, diese Folgerungen durchaus bestätigt. Durch die Untersuchungen von Pasteur wurde gleichfalls nachgewiesen, dass Milchsäure nicht unter die normalen Produkte der geistigen Gärung gehöre.

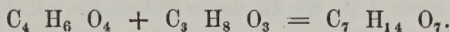
Auch mit der Entdeckung des Glycerins und der Bernsteinsäure als Gärungsprodukte ist nun aber der Chemismus des von uns ins Auge gefassten Vorgangs noch nicht völlig erschöpft, und auch Pasteur hat noch auf eine Reihe anderer, obschon quantitativ untergeordneter, Umsetzungen hingewiesen, die gleichzeitig regelmässig statthaben. So blieb bei seiner Reindarstellung des Glycerins und der Bernsteinsäure jedesmal ein stickstoffhaltiger Rest übrig, dem ein solcher in der ursprünglichen unvergorenen Flüssigkeit keineswegs entsprach. Eine Reindarstellung von einzelnen Stoffen aus diesem Rückstande wurde nicht unternommen, da es sich schliesslich um minimale Mengen, die kaum der Berücksichtigung wert scheinen, handeln musste. — Ebenso wurde von Pasteur, wie schon angedeutet, auf den Umstand aufmerksam gemacht, dass die Substanz der Hefe selbst während der Gärung manchmal einen nicht ganz unerheblichen Zuwachs erleidet, eine Thatsache, der wir später noch von einem anderen Standpunkte aus Interesse abgewinnen werden. Dieser Zuwachs, der die Neuentstehung von einer ganzen Reihe von organischen Substanzen, nämlich aller organischen Bestandteile des Hefeorganismus selbst, auf Kosten von Zucker (der ausser der zugesetzten Hefe die alleinige organische Substanz einer gärenden Flüssigkeit ausmachen kann) in sich schliesst, müsste unter Umständen auch in der Gärungsgleichung Berücksichtigung finden; und es müssten also auch Cellulose, fettes Öl, Proteinstoffe als Gärungsprodukte aufgezählt werden. — Es ist indessen praktisch unmöglich, sowie auch einstweilen ohne tiefergehendes wissenschaftliches Interesse, bei der Erforschung des in Rede stehenden Vorgangs alle nebensächlichen Einzelheiten bis ins letzte Detail zu erörtern.

Eine Gärungsgleichung nun aufstellen zu wollen, in welcher auch nur alle die schon jetzt beobachteten Vorgänge berücksichtigt werden, würde ein schwieriges und keineswegs sehr dankenswertes Unternehmen sein. Es ist zwar von Pasteur versucht worden, wenigstens den Anteil von Bernsteinsäure und Glycerin an dem Prozesse

*) Es thut der Priorität Pasteur's in der Umstossung der alten Gärungsgleichung wenig Eintrag, dass schon vor ihm die Bernsteinsäure als Produkt der alkoholischen Gärung gefunden und dieser Fund mitgeteilt worden war; denn es war damit nicht bewiesen, dass es sich um ein ganz normales Produkt handelte, wozu eben unter anderem die vielfache Variierung des Versuches in der Pasteur'schen Weise notwendig war. Vergl. Handwörterb. d. Chemie, 1848, Bd. III, p. 224, wonach C. Schmidt in Dorpat die Bernsteinsäure als regelmässiges Gärungsprodukt gefunden hat. Vergl. auch Ann. d. Chem. u. Pharm., Bd. 125, p. 126.

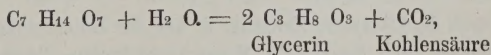
durch (die quantitativen Verhältnisse berücksichtigende) Umsatzformeln auszudrücken. Allein das so gewonnene Bild von dem chemischen Vorgange ist ein ziemlich verwickeltes und noch dazu ein ziemlich ungenaues, indem ja die weiteren noch beobachteten Umsatzprodukte bei der Aufstellung desselben nicht berücksichtigt werden, und es ausserdem durch Pasteur selber nachgewiesen wurde, dass die Menge der entstehenden Nebenprodukte einigermassen von den Umständen abhängig ist — ein Verhältniss, das wir noch in kurzem zu besprechen haben werden.

Dagegen ist es von einigem und namentlich von praktischem Interesse, die Korrektion, welche an der alten Gärungsgleichung durch die neugewonnenen Resultate vorgenommen werden muss, kennen zu lernen. Dabei bleibt zu berücksichtigen, dass, wenn aus Zucker nicht bloss Alkohol und Kohlensäure, sondern auch eine Reihe von anderen Substanzen während der Gärung entsteht, nicht nur die absolute Menge jener Gärungsprodukte herabgedrückt werden muss, dass vielmehr, wegen der eigentümlichen Zusammensetzung der gleichzeitig entstehenden Substanzen, *das Verhältniss zwischen Alkohol und Kohlensäure* selbst abgeändert werden muss. Denn das Glycerin, welches wegen der Menge, in der es bei der Gärung auftritt, hier in erster Linie zu beachten ist, besitzt die Formel $C_3 H_8 O_3$, ist folglich wasserstoffreicher als das Gärungssubstrat, der Zucker, während die Bernsteinsäure sich im umgekehrten Sinne von der Zusammensetzung des Zuckers unterscheidet. Es ist allerdings richtig, die Formeln der Bernsteinsäure und des Glycerins zusammenaddiert, führen zu der empirischen Formel eines Kohlenhydrats wie der Glycose:

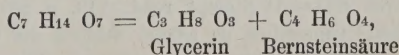


Allein die Erfüllung einer solchen Gleichung würde voraussetzen, dass Bernsteinsäure in erheblich überwiegendem Maasse während der Gärung Entstehung nähme, während thatsächlich das Umgekehrte statthat. Kurz der Umsatz, wie er in Wirklichkeit erfolgt, und besonders, wenn man noch das gleichzeitige Auftreten von Fett (und eventuell auch von neuerzeugten Proteinstoffen) in der sich bildenden Hefe beachtet, kann nicht gedacht werden, wenn man aus dem Zucker nicht noch gleichzeitig einen hochoxydierten Körper entstehen lässt, welcher in unserm Falle nichts anderes sein kann als Kohlensäure*).

*) Es ist, wie gesagt, für unsere Zwecke unnötig, wie dies Pasteur versucht hat, eine spezifische Umsatzformel, die eine solche Beziehung ausdrückt, mühsam zu ersinnen. Es genügt zu konstatieren, dass das wasserstoffreichere Glycerin aus der wasserstoffärmeren Glycose dadurch entstehend gedacht werden kann, dass man gleichzeitig Wasser addiert und Kohlensäure sich abspalten lässt; also, wenn wir uns empirischer Formeln bedienen, z. B.



eine Umsetzung, die neben jener anderen Zerspaltung

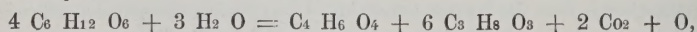


in beliebigem Maassstabe vor sich gehen und darum jedem in Wirklichkeit gefundenen Verhältnisse zwischen Glycerin und Bernsteinsäure entsprechen kann. Wenn man die erste

Wenn 100 Teile Glycose (Traubenzucker oder Fruchtzucker) durch die alkoholische Gärung zerlegt werden, haben wir also nicht 51,1 Prozent Alkohol und 48,9 Prozent Kohlensäure zu erwarten, sondern nach den Pasteur'schen Versuchsergebnissen nur etwa 48,3 Prozent Alkohol und 46,4 Prozent Kohlensäure*). Wir finden hierin unseren Ausführungen gemäss die Alkoholerzeugung in einem etwas stärkeren Verhältnis vermindert als die der Kohlensäure. Da der Rohrzucker um 5 Prozent wasserärmer ist als die Glycose, so haben wir für diesen die Erzeugung von sämtlichen Gärungsprodukten um 5 Prozent zu erhöhen. Wir können also bei der alkoholischen Gärung desselben nahe 51 Prozent Alkohol oder fast die gleiche Menge, die man früher für die alkoholische Gärung des Traubenzuckers annahm, erwarten, was als Anhaltspunkt für das Gedächtnis hier besonders bemerkt werden mag**). — Soviel über den Einfluss der Pasteur'schen Entdeckungen auf die Gestaltung der Gärungsgleichung.

Wir haben schon bemerkt, dass Pasteur auch hinsichtlich des *Schwankens des Verhältnisses von Glycerin und Bernsteinsäure* zu den übrigen Gärungsprodukten einige Beobachtungen mitgeteilt hat. Diese Schwankungen erwiesen sich allerdings nicht als bedeutend, sonst würde der Schluss auf die Zugehörigkeit der Entstehung dieser Substanzen zur normalen alkoholischen Gärung ein gewagter gewesen sein. Die Grenzen der beobachteten Schwankungen wurden bereits angegeben. Aus denselben geht eine verhältnismässig grosse Konstanz des Auftretens der fraglichen Produkte hervor. Dabei ist indessen zu bemerken, dass Pasteur in französischen Weinen zu einer Zeit, wo an deren Fälschung mit Glycerin noch nicht zu denken war, etwas grössere Mengen von Glycerin vorfand, als jenen bei künstlichen Gärungen beobachteten entsprach. In der That bemerkte er auch bei seinen Gärungsversuchen, dass eine sehr langsam verlaufende Gärung das Auftreten von Glycerin und Bernsteinsäure begünstigte, und da die Weine nach ihrer stürmischen Gärung noch eine jahrelang dauernde langsame Gärung durchzumachen pflegen, so könnte jener Fund vielleicht hierdurch erklärt werden***). Weiter wurde noch beobachtet, dass in neutralen Gärungsflüssigkeiten mehr von jenen sekundären Gärungsprodukten

Gleichung fünfmal nimmt, die zweite zweimal und addiert, so gelangt man genau zu den von Pasteur konstatierten Verhältnissen. Wenn man freilich etwas willkürlich einen Teil des Sauerstoffs des Zuckers sich auf die Hefe übertragen lässt, so kommt man zu der einfachen Gleichung Monoyer's:



welche allerdings das relative Verhältnis zwischen Bernsteinsäure und Glycerin gut zur Anschauung bringt.

*) Bestätigt durch Jodlbauer: Zeitschr. d. Ver. für Rübenzuckerindustrie, 1888, p. 308.

**) Hiermit stimmen auch Balling's Versuchsergebnisse (dessen Gärungschemie, 1845, I, p. 175).

***) Später wurde durch Effront (Compt. rend., 119, p. 92) nachgewiesen, dass die im Texte genannten Beiprodukte namentlich im letzten Stadium der Gärung, wo die Hefe schon geschwächt ist, auftreten. Auch scheinen sie in grösserer Menge vorhanden zu sein bei schwachen durch *Mucor* (siehe später) eingeleiteten Gärungen. Siehe Brefeld: Landw. Jahrb., 1876, p. 308.

gebildet werden als in säuerlichen, welche letzteren der Hefe besonders zuträglich sind; und ganz im allgemeinen wird man wohl den Schluss ziehen dürfen, dass diese Beiprodukte die speziellen Erzeugnisse sind einer wenig kräftigen Hefe. Insofern würde theoretisch die alte Gay-Lussac'sche Gärungsgleichung also fortbestehen können, nur praktisch ein gewisser Abzug zu machen sein wegen Hefeernährung und bei dieser Ernährung umgesetzten Bestandteilen.

Sehr wesentliche Erweiterungen unserer Kenntnisse über den Chemismus der alkoholischen Gärung wurden seit Erscheinen der eben besprochenen Arbeit nicht gemacht, namentlich wenn wir einstweilen von den Veränderungen an der Substanz der Hefe selbst absehen, welche nicht wohl ausser Zusammenhang mit der Besprechung von der Natur der Hefe und der Art und Weise ihrer Wirksamkeit behandelt werden können und daher für jetzt noch mit Stillschweigen zu übergehen sind.

Nur der Beobachtungen von Béchamp sowie von Duclaux*) ist hier zu erwähnen, welche die Thatsache konstatierten, dass bei der alkoholischen Gärung regelmässig etwas Essigsäure auftritt. Allerdings bestand in Bezug auf diesen Gegenstand längere Zeit eine Kontroverse zwischen Pasteur und dem zuerst genannten Forscher**), die aber nach Erscheinen der Duclaux'schen Arbeiten als zu Gunsten von Béchamp entschieden angesehen werden muss. Es ist, um diese Widersprüche zu verstehen, zu beherzigen, dass die alkoholische Gärung unter den gewöhnlichen Umständen und bei reichlichem Sauerstoffzutritt sehr leicht in die Essiggärung überzugehen geneigt ist, wie denn nach beendigter stürmischer Gärung ungenügend von der Luft abgeschlossene Weine und Biere ohne weiteres Zuthun beinahe regelmässig der Essigbildung anheimfallen. Es ist so begreiflich, dass ein geringer Essigsäuregehalt einer vergorenen Flüssigkeit durchaus nichts aussagt über die Zugehörigkeit dieser Essigsäurebildung zur alkoholischen Gärung, und dass ein besonderes Beweismaterial notwendig ist, um diese Beziehung darzuthun. Ein solches Beweismaterial wurde nun aber von Duclaux beigebracht, nicht bloss durch Nachweis einer Reinhaltung der Gärung, wofür wir die Belege später kennen lernen werden, sondern auf ähnliche Weise, wie Pasteur die Zugehörigkeit der Glycerin- und Bernsteinsäure-Erzeugung zur alkoholischen Gärung demonstrierte, nämlich durch Beobachtung einer gewissen Konstanz des Auftretens des betreffenden Stoffes und durch Nachweis der Abhängigkeit der Menge dieses Stoffes von bestimmten Gärungsbedingungen.

Unter allen Umständen findet man nach einer reingehaltenen alkoholischen Gärung in der Flüssigkeit etwas Essigsäure. Die Menge derselben ist allerdings sehr gering, besonders wenn die Gärung nach Verzehrung der Hauptzuckermenge sogleich unterbrochen wird. Duclaux fand in einem solchen Falle nur 0,05 Prozent der angewendeten Zuckermenge***), so dass also die Verhältnisse der Entstehung der übrigen Substanzen hierdurch nicht wesentlich berührt werden. Grösser wird

*) Thèses présentées à la faculté des sciences de Paris, 1865.

**) Vgl. Compt. rend., Jahrgang 1863.

***) P. 36 a. a. O.

die Essigbildung nur unter bestimmten Bedingungen, bei Selbstvergärung der Hefe*) nach Verbrauch des Zuckers, bei eigentümlicher Ernährung des Hefepilzes, kurz unter Umständen, welche jetzt noch nicht in das Bereich unserer Betrachtungen gehören.

In Übereinstimmung mit der Duclaux'schen Entdeckung steht dann auch die jedermann zugängliche Beobachtung, dass eine jede Flüssigkeit, sie mag die alkoholische Gärung in noch so grosser Reinheit erlitten haben, ein schwach säuerliches Destillat giebt. Dies gilt namentlich auch für Gärungen bei völligem Ausschlusse von Sauerstoff, also unter Umständen, wo an eine selbständige Essiggärung nicht zu denken ist. Gewerbmässig gewonnene alkoholische Flüssigkeiten sind freilich regelmässig erheblich reicher an Essigsäure, als es jenem von Duclaux konstatierten Verhältnisse entspricht, weil eben Anfänge von Essiggärung praktisch kaum auszuschliessen sind, und auch etwas Essigsäure durch eigentümliche Gärungsprozesse auf Kosten anderer Bestandteile der Gärungsflüssigkeiten entstehen kann**). Es enthalten z. B. normal vergorene Weine durchschnittlich mehr als $\frac{1}{10}\%$ Essigsäure***).

So ist denn das Auftreten von Essigsäure bei der alkoholischen Gärung, früher auf Grund unzulänglicher Beobachtungen und falsch gedeuteter Thatsachen unzähligmal behauptet, endlich doch noch, freilich in einem sehr minimalen Maassstabe, zu einem unbestreitbaren Faktum erhoben worden. Eine erhebliche Bedeutung für die Praxis der Gärungsgewerbe hat allerdings diese Thatsache nicht, es sei denn, dass dadurch die Entstehung von Essigäther bei der Bouquetausbildung unserer Weine — und dieselbe spielt eine Rolle hierbei — ermöglicht wird.

In einer noch neueren Arbeit, welche von zwei anderen Franzosen, Claudon und Morin†), herrührt und mit Weinhefe ausgeführt wurde, sind dann noch geringe Mengen von Amylalkohol und eine bei 178° siedende Substanz, welche auf Isobutylenglycol, $(\text{CH}_3)_2 \cdot \text{C}(\text{OH}) \cdot \text{CH}_2\text{OH}$, gedeutet wird, und in ganz kleinen Spuren noch einige anderen Stoffe nachgewiesen worden. Dieser Nachweis ist von praktischer Bedeutung, da derartige Stoffe die Hauptbestandteile der in den gewöhnlichen gegorenen Getränken nicht sehr merkbaren, aber in den sogenannten Branntweinen sich konzentrierenden Fuselöle sind, deren Entstehung noch nicht ganz aufgeklärt ist. Es bleibt natürlich noch die andere Möglichkeit, dass diese Stoffe die Produkte sind von neben der alkoholischen Gärung herlaufenden anderen Gärungsprozessen, und auch durch die Untersuchungen von Claudon und Morin ist diese Frage noch nicht völlig entschieden, da dieselben nicht mit Hefe angestellt sind von absoluter Reinheit (wir werden weiter unten sehen, was hierunter zu verstehen). Freilich gilt derselbe Einwurf, strenge genommen, auch für die vorausgehenden Arbeiten von Pasteur und ganz strenge auch für die von Duclaux; aber diese Versuche sind so vielfältig variiert und später von anderer Seite bestätigt, dass das Einschleichen von grösseren Fehlern durch beigemengte Unreinigkeiten sehr unwahrscheinlich erachtet werden muss.

*) Siehe später Vorlesung 10.

**) Essigsäure auf Kosten von Weinsäure in Weinen bei gewissen Pilzkrankheiten. Vgl. Bersch: Krankheiten des Weins. Wien 1873.

***) Es fehlt freilich auch nicht an gegenteiligen Behauptungen. Vgl. z. B. Maumené: Compt. rend., T. 57, p. 398; T. 58, p. 218.

†) Compt. rend., 104, p. 1109.

Andere Bestandteile der Fuselöle, z. B. die flüchtigen Basen, sind dagegen bei der eben erwähnten Untersuchung nicht aufgefunden worden, so dass für diese das Entstehen durch nebenhergehende Fäulniserscheinungen die vermutliche Lösung ist.

Mit dem eben Mitgeteilten dürfte die Liste der Produkte der gewöhnlichen alkoholischen Gärung wohl ziemlich vollständig sein, denn was die neuere Forschung an derselben zugefügt hat, ist quantitativ so unbedeutend, dass die Hauptgärungsgleichung dadurch nicht berührt wird, und nur in Bezug auf den Geschmack könnten geringfügige Beimengungen, die etwa noch verborgen sein sollten, von einer grösseren Bedeutung sein. Allerdings müssen manche Arten der alkoholischen Hefe auch noch ausser den aufgezählten Produkten geringere, aber durch den Geschmack sehr deutlich erkennbare Mengen von spezifischen Beiprodukten erzeugen, eine Thatsache, auf welche wir später bei Besprechung der neuesten botanischen Forschungsergebnisse zurückkommen werden.

Diejenigen Veränderungen, welche während der alkoholischen Gärung an Menge und Zusammensetzung der Hefe selbst vorgehen, können im vollen Zusammenhange aus schon angedeuteten Gründen an diesem Orte nicht besprochen werden. Doch soviel sei hier bemerkt, was nunmehr alle einschlagenden Untersuchungen unzweideutig ergeben haben, dass bei einer gewöhnlichen alkoholischen Gärung auf Kosten von Zucker bei nicht sehr unzureichender Ernährung immer eine Hefenvermehrung, natürlich grossenteils auf Kosten dieses Zuckers, stattfindet. Allerdings darf man, um diese Thatsache zu erproben, nicht ein beliebiges Hefengemisch, das regelmässig nur zum Teil aus wirksamer Hefensubstanz besteht, zusetzen und nachher bloss die ungelösten Teile der Hefe nach der Filtration aufsammeln. Dies wäre eine Versuchsanstellung mit einander sehr wenig vergleichbaren Bedingungen, die freilich trotzdem oft in dieser Weise vorgenommen worden ist. Auch bleibt zu beachten, dass die unthätig gewordene Hefe in der alkoholischen Flüssigkeit selber einem Fäulnisprozesse unterliegen kann, infolgedessen sie verzehrt wird. Mit den nötigen Einschränkungen jedoch ist der ausgesprochene Satz als erwiesen zu betrachten*). Hier nimmt derselbe unsere Aufmerksamkeit nur insofern in Anspruch, als er Einfluss besitzt auf die Zerspaltungsgleichung des Zuckers — einen Einfluss, den wir im Vorübergehen übrigens schon einigermaassen berücksichtigt haben. Später wird uns derselbe noch ein weit tiefergehendes Interesse erregen, und dort werden auch die hier nur angedeuteten Thatsachen des breiteren erläutert werden.

Noch bleiben uns an dieser Stelle die neueren Entdeckungen zu besprechen übrig, welche in betreff der Natur des Substrates der alkoholischen Gärung gemacht worden sind. Wir haben bisher den Zucker ohne nähere Bezeichnung als dieses Gärungssubstrat angesehen und nur gelegentlich zu verstehen gegeben, dass verschiedene Zuckerarten die alkoholische Gärung erleiden können. Thatsache ist, dass sowohl verschiedene Glycosen von der Formel $C_6H_{12}O_6$, also Traubenzucker, Fruchtzucker und Lactose, als der wasserärmere Rohrzucker und das andere bekannteste Disaccharid, die Maltose, etwas schwieriger der Milchzucker**), alle von der

*) Vgl. Ausführlicheres in Vorlesung 7.

**) Vgl. Pasteur: *Compt. rend.*, T. 42, p. 347. — Die Gärungsfähigkeit des Milchzuckers hat unter anderen Hess nachgewiesen (vgl. *Poggend. Ann.*, 117, p. 194). Von den

Formel $C_{12} H_{22} O_{11}$, dem Anscheine nach durch Hefe in Gärung versetzt und vollständig in der vorhin erörterten Weise zerspalten werden können.

In Bezug aber auf die mittelbare oder unmittelbare Befähigung der genannten Zuckerarten, die alkoholische Gärung zu erleiden, haben wir das Folgende zu verzeichnen. Während die beiden genannten Zuckerarten von der Formel $C_6 H_{12} O_6$ in Berührung mit leistungsfähiger Hefe ohne weiteres der Gärung anheimfallen, wie schon Mitscherlich durch die Beobachtung der mit der Vergärung proportional verlaufenden Abnahme des Drehungsvermögens für polarisiertes Licht nachgewiesen hat*), ist für den Rohrzucker mit Bestimmtheit nachgewiesen worden**), dass er unter allen Umständen vorher intervertiert wird, d. h. also in ein Gemisch jener beiden Zuckerarten übergeht, gerade wie beim Kochen mit Schwefelsäure. Diese Intervertierung hat nun an sich nichts Wunderbares, denn dieselbe geht auch in Rohrzuckerlösungen vor sich, welche nur von einigen Schimmelfäden in kaum sichtbarem Maasse befallen werden. Da nun die Hefe, wie wir später zu erweisen haben werden, gerade durch den Gehalt an bestimmten Organismenformen, die den Schimmelpilzen verwandt sind, ihre Wirksamkeit besitzt, ja wesentlich aus solchen Organismen besteht, so hat die analoge Einwirkung nichts Befremdendes. Von Interesse ist allerdings die schon in der vorigen Vorlesung erwähnte Beobachtung***), dass diese Einwirkung von dem Organismus als solchem zu trennen ist und einem ausziehbaren Enzyme anhaftet. Am leichtesten gelingt diese Extraktion mittelst Glycerin, wie Hoppe-Seiler und Gunning gefunden haben.

übrigen meistens künstlich dargestellten Kohlenhydraten von der Formel $C_6 H_{12} O_6$ gärt nur noch die aus dem Mannit gewonnene Mannose. Man sieht hieraus, wie subtil die Unterscheidungen sind, nach welchen die Organismen — denn auf die Wirkung solcher werden wir später die Gärungserscheinungen zurückführen — die für sie geeigneten Nährstoffe aus vielen, die gleich geeignet erscheinen, auswählen. Eine ähnliche Beobachtung wurde schon vor vielen Jahren von Pasteur gemacht, da er die Konstitution der Traubensäure blosslegte mit Hilfe der auswählenden Ernährung gewisser Schimmelarten, die von den beiden jene konstituierenden Weinsäuren nur die rechtsdrehende zu sich nehmen. E. Fischer versuchte diese Thatsachen zu erklären durch den asymmetrischen Bau des wirksamen Protoplasmas selber, das wie ein Schlüssel im Schlüsselloch nur einsetzend in ganz bestimmte, entsprechend konstituierte asymmetrische Moleküle eingreifen könne. Vgl. Chem. Ber., 1894, p. 3228. Vgl. auch die Beobachtungen von Lewkowitsch: Ebenda p. 1565 u. 1568, die besonders interessant sind, weil sie die Vorliebe verschiedener Organismen für verschiedene optischen Formen beweisen. Auch der Mannit selber ist der alkoholischen Gärung fähig, aber dabei wird reichlich Wasserstoff geliefert. Siehe Müntz: Ann. d. chim. et phys., Sér. V, 8, p. 80. Es handelt sich also dabei um einen anderen Umsatz und es sind keine genügenden Belege dafür vorhanden, dass der Vorgang auch hinsichtlich der Natur der Hefe derselbe ist.

*) Poggend. Ann., B. 135, p. 95.

**) Zuerst durch Baudrimont und Dubrunfaunt im Jahre 1830. Vgl. Pasteur: Ann. d. chim. et phys., (3) T. 58, p. 329, Anm.; Journ. f. pr. Chem., Bd. 14, p. 334. Siehe auch die erste Vorlesung.

***) Vgl. Liebig: Über die Gärung und die Quelle der Muskelarbeit, 1870. Der erste Beobachter dieses Verhaltens scheint Berthelot zu sein, der schon früher 1860 interessante Versuche über diesen Gegenstand gemacht und aus ihnen ähnliche Schlüsse wie Liebig gezogen hat. Von Wichtigkeit ist insbesondere sein Nachweis der Wirksamkeit des Fermentes in alkalischen Flüssigkeiten.

Unter diesen Umständen liegt die Annahme sehr nahe, dass der Rohrzucker direkt nicht gärungsfähig sei, dass also stets die Zerspaltung des Moleküls in zwei Glycosemoleküle vorausgehen müsse. Diese Auffassung wird nicht bloss sehr verstärkt durch die Thatsache, die schon Dumas fand, die aber seither vielfach bestätigt werden konnte, dass zur Vergärung der Gewichtseinheit Rohrzucker durch die gleiche Menge Hefe unter gleichen Verhältnissen erheblich mehr Zeit erforderlich ist als für die Gewichtseinheit Traubenzucker. Dieselbe scheint geradezu unabweislich zu werden, seit man gesehen hat, dass manche der Hefeorganismen, welche wir in den späteren Vorlesungen als charakteristisch für die Gärung kennen lernen werden, wie z. B. *Saccharomyces apiculatus*, nur Glycosen, nicht aber den Rohrzucker zu vergären vermögen, offenbar weil ihnen ein genügender Gehalt jenes die Spaltung vollziehenden Enzyms, des sogen. Invertins, abgeht*). Ganz ähnliche Thatsachen sind bei anderen Arten auch hinsichtlich der sonst so leicht vergärenden Maltose bekannt, so dass man wohl ganz allgemein aussprechen kann, dass die Glycosen das eigentliche Gärsubstrat seien und dass Kohlenhydrate von grösserem Molekül in der Regel**) erst in die einfachen Zucker gespalten sein müssen.

Einen Einfluss auf die Gültigkeit und die weitergehende Beweiskraft der vielen Experimente, die fast alle aus Bequemlichkeitsrücksichten mit Rohrzucker angestellt wurden, hat übrigens die fragliche Komplikation nicht gehabt, indem ein Hindernis für die genügend rasche Vergärung des Rohrzuckers aus dessen vorausgehender Invertierung selbst in dem Falle nicht entspringen kann, dass dieselbe notwendig der Gärung vorhergehen muss, da eben diese Invertierung meist überaus leicht genug von der zugesetzten oder der neu entwickelten Hefe besorgt wird.

Polysaccharide sind der Gärung beinahe gar nicht zugänglich***). — Die Raschheit oder Langsamkeit der Gärung weist übrigens nicht allein auf die

*) Auch kann man einer Angabe von Gunning zufolge gewöhnliche Hefe durch Glycerin ihres Invertins und dadurch ihrer Gärfähigkeit so lange berauben und sie in eine Art von scheinbaren Zustand überführen, den sie wieder verlässt, sobald man ihr wieder das Entnommene zuführt. Doch erheischen diese Thatsachen noch ein erneutes Studium, da nach G. auch die Vergärung von Dextrose unter diesen Umständen unterbleibt. Vgl. Maandblad v. Natuurwetenschappen, II, p. 65 u. 105.

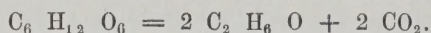
**) Hansen will eine Ausnahme dieser Regel gefunden haben bei *Torulazellen*, die (obwohl im schwachen Grade) Rohrzucker vergären können ohne Invertin. Interessante Details auch in dieser Beziehung bei Beyerinck: Centralbl. f. Bakteriologie etc., 1894, p. 57.

***) Die Vergärungsfähigkeit des *Dextrins*, ein lediglich aus Traubenzuckermolekülen bestehendes Polysaccharid, durch Barfœd nachgewiesen (Journ. f. prakt. Chemie, 1872 (6) p. 334; — frühere Versuche in der gleichen Richtung von Bialoblocki und Rösler blieben resultatlos, vgl. Annal. d. Önologie, B. I) und von Rothenbach bestätigt, scheint eine ziemlich unvollkommene. Höchstens wurden bei grösseren Mengen von zugesetzter Hefe nur mässige Gärungsintensitäten beobachtet und in keinem Falle die Vergärung zu Ende geführt. Als Gärungsprodukte wurden nur Alkohol und Kohlensäure gefunden. Jedenfalls gilt dieses Resultat auch nur für bestimmte Hefesorten. Dieser Nachweis hat insofern einiges praktische Interesse, als man lange keine rechte Vorstellung davon hatte, auf welche Weise das Dextrin in den Branntweinmaischen nach und nach zur Bildung von Alkohol beitrug. Die von B. nachgewiesene Thatsache scheint dies Verhalten zu erklären; doch ist dasselbe der Hauptsache nach darauf zurückzuführen, dass der durch die Diastase veranlasste Prozess, welcher

bisweilen erst notwendige Spaltung des verwendeten Gärungssubstrates, sondern die Glycosen unter sich zeigen in dieser Beziehung die grössten Verschiedenheiten. Schon Dubrunfaut hat gezeigt, dass bei der Vergärung des Invertzuckers die Linksdrehung stärker bestehen bleibt, als dem Vergärungsgrad entspricht, d. h. also, dass der rechtsdrehende Traubenzucker in erster Linie eine rasche Vergärung erleidet. Dies wurde durch alle neueren Untersuchungen bestätigt und in Übereinstimmung damit vergärt die Maltose, die nur aus zwei Traubenzuckermolekülen besteht, ungleich rascher*) als der Rohrzucker, der neben denselben auch schwerer vergärbaren Fruchtzucker enthält. Viele der neuerdings dargestellten Kohlenhydrate der Formel $C_6 H_{12} O_6$ gären überhaupt gar nicht. Die verschieden starke Vergärungsfähigkeit der verschiedenen, sonst einander nahestehenden Zuckerarten hat natürlich auch eine hervorragende praktische Bedeutung für die Erkennung der Weinverfälschungen**).

Wir können etwa folgendes als Resultat unserer heutigen Betrachtungen ansehen:

1. Der Fruchtzucker und der Traubenzucker und noch einige anderen Glycosen, welche jedenfalls und vielleicht ausschliesslich direkt die alkoholische Gärung erleiden, zerfallen hierbei im wesentlichen in Alkohol und Kohlensäure nach der Gleichung:



2. Der Rohrzucker, die Maltose und andere Disaccharide zerfallen bei ihrer alkoholischen Gärung wesentlich nach derselben Reaktion, nachdem sie vor der Gärung durch Wasseraddition in jene Zuckerarten übergeführt wurden. Diese vorausgehende Hydrolyse geschieht durch manchen Hefen eigentümliche Enzyme und man kann danach die Hefen in Glycose- und Maltosehefen etc. unterscheiden.

3. Unter den Glycosen gärt der Traubenzucker am raschesten und dasselbe gilt für die Disaccharide, welche vorwiegend diesen Bestandteil enthalten.

4. Dieser chemische Vorgang ist indessen nicht der einzige, durch welchen der Zucker während der alkoholischen Gärung in Anspruch genommen wird. Daneben entstehen, obwohl in nicht ganz konstanter Menge, auf Kosten von etwa 5% Zucker normalerweise in absteigenden Mengen: Glycerin, Bernsteinsäure, Essigsäure und einige andere unbekannte Körper. Ausserdem tritt unter gewöhnlichen Umständen (bei nicht vollkommenem Luftabschluss) eine Vermehrung des Hefegewichtes ein von mindestens 0,8—1,5% des Zuckers.

anfangs Dextrin und Maltose bildet, während der Gärung, also nach Hinwegnahme eines Teils des Zuckers, noch für die Überführung des Dextrins in Zucker eine Zeit lang fortgeht und so schliesslich ein Umsatz des vermaischten Stärkemehls in Alkohol bis hoch in die 90% stattfindet.

*) Jodlbauer: Zeitschr. d. Vereins f. Rübenzuckerindustrie, 1888, p. 308.

**) Vgl. z. B. Zeitschr. d. Ver. nassau. Land- u. Forstwirte, 1875, Nr. 36.

Dritte Vorlesung.

Die Ursächlichkeit der alkoholischen Gärung.

Unsere letzten Betrachtungen waren den chemischen Vorgängen bei der alkoholischen Gärung gewidmet. Nachdem wir diese Vorgänge, soweit dieselben uns jetzt bekannt sind, erörtert haben, ist es an der Zeit, die Frage nach der Ursächlichkeit des ganzen Vorganges aufzuwerfen.

Vielleicht mag es befremden, diese Frage erörtert zu hören, sieht man doch unzählige chemische Reaktionen zwischen zwei Substanzen sich vollziehen, ohne dass man sich weiter mit der Ursächlichkeit der Erscheinung beschäftigt, indem man aus Erfahrung weiss, wie wenig fruchtbar eine solche Erörterung durchweg zu sein pflegt. Die sogenannte „chemische Affinität“ zwischen zwei Substanzen und die Annahme, dass diese Affinitäten zwischen verschiedenen Substanzen verschieden gross seien, sind bis jetzt die letzte Ursache, zu der wir bei Erklärung der chemischen Erscheinungen vorzudringen vermochten. Was darüber hinausgeht, ist uns bis zur Stunde verschlossen.

Warum begnügen wir uns in dem vorliegenden Falle nicht mit einer solchen relativen Erklärung? — Warum forschen wir gerade hier nach einer tieferliegenden Veranlassung? — Um dies zu verstehen, wird zu zeigen sein, dass die Sachlage eine wesentlich andere ist wie dort, dass wir es nicht mit einem gewöhnlichen chemischen Prozesse zu thun haben, und dass die sogenannte Frage nach der Ursächlichkeit in unserem Falle die sehr bescheidene nach der eigentlichen Natur des Vorgangs und keineswegs nach dessen letztem Urgrunde ist. Diese Frage reduziert sich darauf, ob bei der alkoholischen Gärung nicht ausserhalb des Gebietes der Chemie liegende Momente mit thätig sind, die uns verbieten, eine rein chemische Erklärung für dieselbe aufzusuchen.

In diesem Sinne werden wir zuerst historisch die wirklich erwähnenswerten Erklärungsversuche für unseren Vorgang durchgehen, um schliesslich unsere heutigen Anschauungen vorzuführen und deren Berechtigung zu prüfen. Wir werden auch hier wieder anknüpfen an unsere frühere Darstellung der Anschauungen aus den Zeiten, welche der modernen Entwicklung der Naturwissenschaften vorausgingen.

Die Hauptfortschritte in der Erkenntnis der Natur der Hefe wurden durch die Anwendung des Vergrößerungsglases gemacht, und deshalb ist es billig, dass wir unsere Aufzählung mit einer Entdeckung beginnen, die diesem Hilfsmittel zu verdanken ist. Dieselbe erscheint freilich an sich unbedeutend und ist nur als Ausgangspunkt für spätere Funde von Wichtigkeit. Ich meine natürlich die Entdeckung der sphärischen Gestalt der Hefeteilchen durch Leuwenhoek im Jahre 1680 mit Hilfe des Mikroskops*). Weitere und, wie es jetzt scheinen mag, naheliegende

*) Vgl. Ann. d. chim. et phys. (3), T. 58, p. 364.

Beobachtungen wurden freilich von diesem Naturkundigen nicht gemacht. Allein es ist zu beachten, dass ohne die Kenntnis der charakteristischen Gestalt der Hefe der Gedanke an eine vorhandene Organisation schwerlich möglich gewesen wäre, wenn auch die Erkenntnis der Rundung der Hefeteilchen noch nicht einmal als ein ganz sicherer Anfang für diese Einsicht gelten kann*); denn bekanntlich wurde die Organisation der Hefe noch durch eine in der Mitte unseres Jahrhunderts populäre Theorie geleugnet, da doch die Kenntnis ihrer Gestalt eine sehr viel vollkommnere war.

Als erste klar ausgesprochene Gärungstheorie, die, wie viele spätere, sämtliche Gärungsprozesse umfassen sollte, kann vielleicht die früher schon erwähnte Stahl'sche gelten. Dieselbe fusste auf dem Grundsatz, dass in chemischer Aktion befindliche Stoffe diese Thätigkeit, gleichsam durch einen mechanischen Anstoss ihrer kleinsten Teilchen, auf andere an sich stabilere Substanzen zu übertragen vermöchten. Dieselbe verdient also die später für diese Anschauung üblich gewordene Bezeichnung als mechanische Gärungstheorie.

Gegen diese Anschauung kann nun allerdings geltend gemacht werden, dass ihre Vorstellungsart nicht mit unseren heutigen, durch die mechanische Wärmetheorie geschaffenen Begriffen von der Bewegung der kleinsten Teilchen übereinstimmt. Indes dies berührt doch kaum den Kern der Sache, indem eine korrekte Übersetzung der Vorstellung in unsere heutige Sprache denkbar wäre. Wir müssen vielmehr die Stahl'sche Theorie als eine, wie es damals schien, zulässige Verallgemeinerung unserer Vorstellung vom Zustandekommen vieler Naturprozesse ansehen. Z. B. die stets in die Augen fallenden Verbrennungsprozesse, zu deren Zustandekommen Berührung mit einem bereits brennenden Körper nötig schien, boten anscheinend eine gute Analogie dar. Irgend eine speziellere Behauptung war in die Hypothese gar nicht eingeschlossen.

In der That haben die Stahl'schen Ansichten über Gärung in der darauf folgenden Zeit keinen eigentlichen Sturz erfahren; sie gerieten nur in der glänzenden Periode, welche für die Chemie mit dem Ende des 18. Jahrhunderts hereinbrach, zusammen mit dem ganzen System dieses berühmten Chemikers in Vergessenheit. Wären sie weiter beachtet worden, so würde vielleicht auch aufgefallen sein, dass jener Analogieschluss einigermaassen wurmstichig geworden war, und dass die Hypothese, dieser Stütze beraubt, doch eigentlich zu schwach war, um ganz auf eigenen Füßen zu stehen.

Genug, die nachfolgende experimentierfrohe Zeit mit ihrer gesunden empirischen Richtung hatte anderes zu thun, als derartige allgemeine Theorien aufzustellen oder deren Zulässigkeit zu besprechen. Wir haben daher zunächst von einer Reihe von Spezialentdeckungen zu berichten, nach welchen erst wieder der Überblick über das Neugewonnene und die hieran sich anschliessenden Verallgemeinerungen ihr Recht gewannen.

Im Jahre 1787, also um die Zeit Lavoisier's, krönte die Florenzer Akademie eine Arbeit Fabroni's, in welcher dieser die Bierhefe mit dem Getreidekleber und anderen glutenartigen Pflanzenbestandteilen identifizierte und die Gärung als eine

*) Wie denn auch Leuwenhoek selbst die Hefekügelchen mit den Stärkekörnchen des Getreides, aus dem die Bierwürze resultiert, zusammenwarf.

rein chemische Aktion von diesem auf Zuckerlösungen auffasste. Es konnte ja in der That auch nachgewiesen werden, dass durch Zusatz von kleberartigen Stoffen zu Zuckerlösungen diese befähigt wurden, die alkoholische Gärung zu erleiden, und wir dürfen nicht verkennen, dass trotz der wenig exakten Ausdrucksweise der damaligen Zeit uns in der Fabroni'schen Mitteilung eine Entdeckung von einiger Bedeutung vorliegt*). Auch die Essiggärung wurde auf eine ähnliche Weise zu erklären versucht.

Derselbe Forscher machte weiter einen sinnreichen Versuch, zu erklären, warum in unverletzten Früchten keine Gärung eintrete, indem er die örtliche Trennung zwischen Zucker und Ferment, gestützt auf einige Versuche, daselbst annahm.

Um einige noch wichtigere Thatsachen hinsichtlich der Alkoholgärung haben uns die französischen Chemiker, die auf dem von Lavoisier gegründeten Boden fortarbeiteten, bereichert. Ich betrachte als hierhin gehörig weniger die Thénard'sche Behauptung, dass die Hefe animalischer Natur sei — womit nur ein Wink in Bezug auf deren Stickstoffreichtum gegeben war —, aber wohl seine Entdeckung von der Beteiligung bierhefeähnlicher Substanzen bei allen Alkoholgärungen**), sowie die von der Abnahme der Hefesubstanz bei der Gärung in reiner Zuckerlösung — Gegenstände, auf die wir teilweise noch ausführlicher zurückkommen werden. Die von Thénard aufgestellte Gärungstheorie jedoch (sowie die ganz ähnliche von Seguin***), nach welcher die kohlenstoffreiche Hefe mit ihrer grossen Verwandtschaft für Sauerstoff den Zucker an diesem Elemente berauben und dadurch gleichzeitig Veranlassung zur Alkohol- und Kohlensäurebildung geben sollte, darf keine eingehendere Beachtung in Anspruch nehmen. Was uns von jener ganzen Epoche hier allein interessiert, sind die berühmten Gay-Lussac'schen Erklärungsversuche des Gärungsvorganges, welche, gestützt auf interessante Experimente†), bis auf unsere Zeit eine sehr allgemeine Herrschaft in der Chemie ausgeübt haben.

Die bezüglichlichen Experimente Gay-Lussac's nehmen ihren Ausgang von der sogenannten Appert'schen Konservierungsmethode††), welche damals schon längere

*) Im übrigen schlossen die Ansichten Fabroni's viel Fehlerhaftes in sich ein, so die Meinung, dass die entweichende Kohlensäure hinsichtlich ihres Kohlenstoffgehaltes dem gärungserregenden Fermente entstamme, und die, dass der Alkohol erst bei der Destillation der gegorenen Flüssigkeit entstände. Auch war in der ersten der Florenzer Akademie eingereichten Arbeit noch viel von einer Pflanzensäure als Gärungserreger die Rede, und erst in einer späteren der Société Philomatique in Paris vorgelegten Abhandlung werden kleberartige Körper allein in dieser Richtung in Anspruch genommen. Vgl. namentlich Ann. d. Chim. (1), T. 31, p. 300; Thénard: T. 46, p. 297, Anm.; auch Kopp: Geschichte der Chemie, IV, p. 298.

**) Ann. d. Chim. (1), T. 46, p. 294. Er wendete sich damit gegen die Behauptung Fabroni's, dass der Kleber gärungserregend wirke, und hatte auch experimentell nachgewiesen, dass dies für den reinen gutgewachsenen Kleber nicht der Fall sei.

***) Ebenda: p. 319.

†) Ann. d. Chim. (1), T. 76, p. 247.

††) Als ein Vorgänger von Appert ist Wren (1669) zu betrachten, der schon in einer ähnlichen Weise von dem Einfluss der Luft auf Gärungs- und Fäulnisprozesse handelt (Kopp: Geschichte der Chemie, Bd. IV, p. 290).

Zeit in Übung war. Bekanntlich halten sich leicht zersetzbare organische Stoffe, namentlich feuchte oder gar wässrige vegetabilische Nahrungsmittel, unter den meisten Umständen ausgezeichnet und eine beliebig lange Zeit hindurch, wenn man sie auskocht, längere Zeit, z. B. eine Stunde nachkocht, während oder unmittelbar nach dem Kochen für einen guten Abschluss von der Luft sorgt und den Verschluss auch nach dem Erkalten noch dicht erhält. — Diese Thatsache steht seit lange unerschüttert fest; und nur als Erklärung für dieselbe haben in verschiedenen Zeiten sehr verschiedene Dinge gedient.

Die Zeit, welche unmittelbar auf Lavoisier folgte, war bekanntlich das Zeitalter des Sauerstoffs, wie man denn begreiflicher Weise stets ein neues Erklärungsprinzip auf sämtliche noch unerklärte oder nicht genügend erklärte Erscheinungen anzuwenden sucht, und es kann uns nicht wunder nehmen, dass die Appert'sche Konservierung damals nur durch die Austreibung (resp. Bindung an die Substanzen der Flüssigkeit) und das dauernde Fernhalten des Sauerstoffs zu wirken schien, der im andern Fall die chemische Aktion der Gärung, Fäulnis, Verwesung eingeleitet haben würde. Auch waren einige ganz neue und anscheinend schlagende Experimente vorzuführen, welche den Beweis in jener Richtung beizubringen schienen. Unverletzte Traubenbeeren, über Quecksilber, welches durch Ausspülen mit Wasserstoff von den letzten Resten Luft befreit worden war, ausgedrückt, so dass auf diese Weise der ausgepresste Most von Luft abgesperrt war, erhielten sich chemisch unverändert, während unter gewöhnlichen Umständen bekanntlich Gärung eintritt. Liess man Luft über das Quecksilber hinzutreten, ja auch nur Sauerstoff, den man frisch durch galvanische Zersetzung des Wassers in dem abgesperrten Raume selbst bereitet hatte, so trat auch hier Gärung ein. Ähnliches wurde auch für andere Gärungsprozesse erwiesen.

Wir wollen uns an dieser Stelle nicht damit befassen, diese anscheinend schlagenden Experimente in unserer Weise zu erklären; doch ist einstweilen darauf hinzudeuten, dass einige Zufälligkeiten mitgewirkt haben mögen*). Auch ist die Weise der Gay-Lussac'schen Schlussfolgerung besonders interessant als Beispiel eines durch die Umstände sehr verdeckten und daher häufig vorkommenden logischen Fehlers bei Schlussfolgerungen aus Versuchen. Der durch Gay-Lussac ermittelte Thatbestand ist zunächst der, dass Sauerstoff, auf welche Weise auch immer dem Moste zugeführt, stets die unerlässliche Bedingung war für das Eintreten der Gärung. Seine Folgerung nach dem logischen Schema: *post hoc, ergo propter hoc*, war, dass jenes Element diese direkt veranlasse, und lange Zeit hatte niemand hieran etwas auszusetzen.

Dem in die Finessen in die Kunst zu schliessen Eingeweihten dagegen ist bekannt, dass es noch andere Fälle gibt des unfehlbaren Zusammentreffens zweier Erscheinungen als die unmittelbare Abhängigkeit. Zunächst können zwei Erscheinungen, die durch alle versuchten Variationen der Erfahrung nicht auseinanderzureissen sind, in dem Zusammenhang zu einander stehen, dass sie beide abhängig sind von einer dritten

*) Vgl. Helmholtz: Journ. f. prakt. Chemie, Bd. 31, p. 434. Auch beweisen der Erfolg des Lüftens beim Moste, sowie einige später zu beschreibende Versuche von Brefeld u. a., dass der Sauerstoff indirekt allerdings Einfluss auf die Gärung besitzt.

Unbekannten*). Dieser Fall ist hier ausgeschlossen, da die eine Erscheinung: Anwesenheit von Sauerstoff willkürlich erzeugt wurde. Aber es giebt auch noch andere Einschränkungen für die Zulässigkeit in jener beliebten Weise zu folgern. Der experimentell variierte Umstand kann auch einen nur indirekten Einfluss haben auf die eigentliche unmittelbare Ursache, die zufällig unter allen durch das Experiment berührten Umständen dieser Beeinflussung bedürftig war. Dieser Fall besteht z. B. in Bezug auf die bekannte Beeinflussung der Befruchtung mancher Pflanzen durch Insekten, welche Abhängigkeit man nicht so darstellen darf, dass man sagt, die Anwesenheit von Bienen ist die Ursache der Fruchtbildung, womit man nicht allein die näheren Umstände der Befruchtung ignorieren würde, sondern die andern Möglichkeiten der Pollenübertragung durch den Wind oder durch künstliche Manipulationen fälschlich ausgeschlossen haben würde.

In ähnlicher Weise wird der vorliegende Fall später seine Erklärung finden, nachdem nachgewiesen ist, dass lebende niedere Organismen die näherliegende Ursache der Gärung sind und Sauerstoff nur zuweilen (wiewohl in dem vorliegenden Falle regelmässig) nötig, um dieselben, die auf den Traubenbeeren zufällig im ruhenden Zustande anwesend waren, in den Zustand des aktiven Lebens zu versetzen.

Genug, durch die Gay-Lussac'schen Versuche schien, so wie man sie damals fasste, die Rolle des Sauerstoffs auch als Einleiter der Gärungs- und Fäulnisprozesse aufgedeckt, und, wenn man diese Vorgänge nun auch nicht — hiergegen sprachen eine Menge von anderen Erfahrungen — schlechtweg als Oxydationsvorgänge betrachtete, so sollte doch ein Oxydationsvorgang immer die Sache einleiten, sei es, dass die hypothetischen Fermente erst durch Oxydation ihre Entstehung nähmen**), sei es aus irgend einer andern Ursache. Als erwähnenswert scheint noch, dass die Verwendung der schwefeligen Säure (Einbrennen der Fässer) zur Verhinderung der Gärung (Stummachen des Mostes) von dem Gay-Lussac'schen Standpunkte aus eine vortreffliche theoretische Begründung zu erhalten schien.

Lange Zeit hindurch blieben, wie gesagt, die Gay-Lussac'schen Anschauungen die herrschenden. Die Konservierungsmethoden wirkten durch Sauerstoffausschluss, ausserdem noch durch Zerstörung des bereits gebildeten chemischen Fermentes in der Siedhitze — so lange, bis man, von einem ganz andern Gesichtspunkt ausgehend, auch noch auf weitere wichtige Veränderungen aufmerksam wurde, welche in den Flüssigkeiten auf gleiche Weise bewirkt werden, wobei wir gerade auf ganz neuen Versuchsergebnissen fussend — gerne zugeben wollen, dass von Gay-Lussac ein sekundärer Faktor der Gärungserscheinungen — und zwar mehr, als dies Pasteur nachmals anerkennen wollte — erkannt worden ist.

Die nun folgenden Arbeiten, welche nicht diesen andern Weg einschlugen, waren in der That trotz vielem auf sie verwandten experimentellen Geschick in

*) Wie man z. B. nicht gleich schliessen darf, obwohl häufig so geschlossen wird, aus der Thatsache: Junggesellen leben kürzer als Ehemänner, die Ehe verlängere das Leben, da ein dritter ganz übersehener Umstand, die schon vorhandene Kränklichkeit, ja sowohl die Lebensdauer beschränkt als die Zahl der Eheschliessungen.

**) Diese Auffassung ziemlich klar ausgesprochen bei Gay-Lussac: a. a. O., p. 254 und 255.

ihren Ergebnissen ziemlich unfruchtbar, so die von Colin*) aus dem Jahre 1825. Von den Resultaten derselben ist hier nur zu erwähnen, dass die fertige Hefe des Sauerstoffs der Luft nicht bedarf, um ihre Wirkung auszuüben. Im übrigen handelt die Arbeit von der fermentierenden Kraft verschiedener Proteinstoffe und namentlich der löslichen und unlöslichen Bestandteile der gewöhnlichen Hefe.

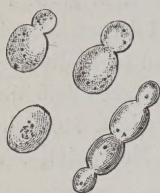


Fig. 1. Bierhefe.
Vergr. 400.

Jener andere fruchtbarere Weg, der es aufgab, den zu ergründenden Prozess lediglich aus chemischen Gesichtspunkten erklären zu wollen, nimmt, wenn man will, den Ausgangspunkt in der eingangs der uns gerade beschäftigenden Betrachtungen erwähnten geringfügigen Beobachtung Leuwenhoek's, dass man die Hefe unter dem Mikroskope wesentlich aus kleinen sphärischen Körperchen bestehend findet, wiewohl zunächst Leuwenhoek an eine Organisation der entdeckten Kügelchen nicht gedacht hatte.

Von einem ebenso geringen Einfluss auf das eigentlich Entscheidende in dem Gang der einschlagenden Untersuchungen, aber freilich an sich von grösserer Bedeutung, war die Behauptung Erxleben's aus dem Jahre 1818, dass die Hefe ein vegetierender Organismus sei und hierdurch die Gärung veranlasse. Diese hochwichtige Bemerkung war aber mehr gelegentlich und nur in einer Schrift von rein praktischer Bedeutung gemacht worden, so dass dieselbe nicht die verdiente Beachtung fand**).

Die gleiche Behauptung, gestützt auf eingehende Beobachtungen, wurde eine Reihe von Jahren später, 1835, von Cagniard de Latour in Frankreich aufgestellt, die Hefe ausdrücklich als ein Organismus, und zwar wegen des Mangels der Bewegung *als ein pflanzlicher Organismus, welcher die geistige Gärung veranlasse***)*, aufgefasst, während die Botaniker, wie es scheint, schon eine längere Zeit hindurch, aber ohne jenen Kausalnexus zwischen Hefevegetation und Gärungserregung ausdrücklich zu behaupten, die pflanzliche Organisation der Hefe angenommen hatten. In einem gewissen Sinne lässt übrigens Cagniard de Latour den Sauerstoff als Gärungserreger nebenbei gelten†).

Unabhängig von Cagniard de Latour, wiewohl unleugbar später als dieser, machte auch unser Landsmann Schwann die gleiche Entdeckung††). Wenn aber dem Franzosen die rein äusserliche und, wenn man will, zufällige Priorität gebührt, so brachte der Deutsche den thatsächlichen Beleg, die gründliche Beweisführung,

*) Annal. d. Chim. (2), T. 30, p. 42.

**) Als ein weiterer Vorläufer in dieser Richtung muss wohl auch Desmazières betrachtet werden, der 1825 unter dem Mikroskope die Organisation des Hefepilzes und eines verwandten Organismus, der damals sogenannten *Mycoderma vini*, fand, auch Abbildungen gab, dieselben freilich sehr unrichtig, nämlich als tierische Wesen beschrieb. Vgl. Ann. d. Sciences natur. T. 10, p. 43 u. siehe auch weiter unten. Ähnliche Beobachtungen hatte auch Persoon 1822 gemacht. — Erxleben veröffentlichte seine Anschauung in dessen: Güte und Stärke des Biers, Prag, p. 69; vgl. Balling: Gärungschemie, 1845, p. 159.

***)) Annal. d. chim. et phys. (2), T. 58, p. 206.

†) Ebenda p. 216.

††) Poggend. Annal., Bd. 117, p. 184.

wozu eben bei einer so schwierigen Frage ein erheblicher Aufwand von Geduld und sinnreicher Versuchsanstellung nötig war.

Schwann widerlegte zunächst die seit Gay-Lussac herrschende Meinung, dass die Luft als solche oder, strenger, durch ihren Sauerstoffgehalt die Gärungs- und verwandten Erscheinungen hervorriefe, indem er zeigte, dass sauerstoffhaltige Luft unter bestimmten Verhältnissen hierzu unfähig ist, und zwar speziell Luft, welche den Glühprozess durchgemacht hatte und chemisch gar nicht verändert erschien. Um zu verstehen, warum Schwann's Versuche sich gerade in dieser Richtung bewegten, ist zu bemerken notwendig, dass sich unser Forscher nur nebenbei die Aufgabe gestellt hatte, die Ursache der alkoholischen Gärung zu ergründen, und vielmehr in erster Linie die Frage nach der Möglichkeit einer Urzeugung bearbeiten wollte. Für die Behandlung dieser Frage waren gärende und faulende Flüssigkeiten das denkbar geeignetste Versuchsmaterial, indem man in denselben stets reichliche Entwicklung der niedrigsten Organismen gewährte. Schwann hatte zunächst die Beobachtung gemacht, dass der Appert'sche Versuch auch bei einem Überschuss von Sauerstoff in dem abgeschlossenen Raume gelingt, was ihn zuerst an der Richtigkeit der Gay-Lussac'schen Erklärungsweise zweifeln liess. — Es lag nun nahe, den Versuch in der Weise zu modifizieren, dass man neue Luft zuführte, dieselbe aber vorher dem gleichen Prozess unterwarf, d. h. sie auf höhere Temperatur erhitze.

Schwann fand nun auf diese Weise, dass eine Reihe von gärungs- und fäulnisfähigen Flüssigkeiten nach dem Auskochen gärten oder faulten und gleichzeitig Organismen in sich entwickelten, wenn gewöhnliche Luft hinzugelassen wurde, dass aber beides nicht eintrat, wenn unter den nötigen Vorsichtsmaassregeln die hinzutretende Luft vorher zur Glühhitze gebracht worden war. Die Art der Versuchsanstellung war eine ziemlich einfache, dazu keineswegs ganz musterhafte, so dass wir uns hier ihrer näheren Beschreibung entslagen können.

Durch das Resultat der Schwann'schen Experimente, die sich zu einem grossen Teil speziell auf die alkoholische Gärung bezogen, waren mehrere Dinge gleichzeitig bewiesen. Einmal, dass in der gewöhnlichen atmosphärischen Luft *ein gewisses Etwas* vorhanden ist, das Veranlassung giebt zum Befallenwerden jener Flüssigkeiten durch Organismen. Hieran schliesst sich dann die naheliegende Vermutung an, dass dieses Etwas Organismenkeime seien. Weiter konnte geschlossen werden — was uns an dieser Stelle noch mehr interessiert —, dass spezifische Organismen in einer nahen Beziehung stehen zu spezifischen Zersetzungsprozessen, so dass also die letzteren vermutlich durch die ersteren veranlasst werden. Daneben ist noch das negative Ergebnis zu verzeichnen, dass die Anwesenheit von Sauerstoff *nicht*, wie Gay-Lussac aus seinen Versuchen glaubte schliessen zu dürfen, das Entscheidende für das Zustandekommen von gärungsartigen Zersetzungsprozessen ist.

Die Ergebnisse der Schwann'schen Versuche sind nur insofern für unsere heutige Beurteilung entscheidend, als sie die Zusammengehörigkeit von bestimmten Zersetzungen und Organismenentwickelungen dokumentierten. Im übrigen sind sie mehr als Anfänge für eine weiter detaillierende Beweisführung anzusehen; denn dass jenes Etwas in der atmosphärischen Luft gerade Organismenkeime waren oder irgend welche andere durch die Glühhitze zerstörbare Körper, dafür lag ja noch

gar nichts Positives vor. — Auch darf nicht verschwiegen werden, dass Schwann's Beweisführung gerade vom technischen Gesichtspunkte aus eine ziemlich unvollkommene war. Eine ganze Reihe von Versuchen, namentlich auch solche, die sich auf die alkoholische Gärung bezogen, missglückte und gab ein dem erwarteten entgegengesetztes Resultat. Es darf deshalb nicht wunder nehmen, sondern es ist lediglich eine Folge dieser Missstände, dass die Gay-Lussac'schen Anschauungen über Gärungs- und Fäulnisercheinungen und deren Veranlassung keineswegs endgültig beseitigt waren, sondern bis zum Auftreten Pasteur's eine hervorragende Geltung in Anspruch nahmen.

Speziell in Bezug auf die Natur der Bierhefe hat dann noch Schwann einige Mitteilungen gemacht, von welchen folgende hier Platz finden mögen. Er glaubte nämlich die pflanzliche oder tierische Natur des Hefeorganismus durch die Art der Gifte feststellen zu können, die denselben zu Grunde richteten — eine Methode, die wir jetzt mindestens als eine sehr einseitige bezeichnen würden, die aber doch in casu quo zu einem richtigen Ergebnis führte. Schwann glaubte, dass Pflanzen nur durch Mineralgifte, Tiere aber gleichzeitig auch durch Pflanzengifte zu Grunde zu richten seien, und erklärte den Hefeorganismus als eine Pflanze, da seine Entwicklung und die durch ihn veranlasste Gärung nicht durch Beimischung von Strychnin litt, wohl aber von Arsenik*). Es würde dieser Versuch weit eher eine Bedeutung haben durch den Nachweis, welchen er für die Zusammengehörigkeit von Hefeentwicklung und Gärung von neuem hätte beibringen können.

Besonders zu erwähnen ist, dass sich Schwann's Untersuchungen auch auf die Gärung von Traubenmost beziehen, und dass er in diesem nicht von Anfang an, wohl aber nach begonnener Gärung dem Bierhefeorganismus sehr ähnliche sprossende kleine Pflänzchen nachwies.

Seine wichtigsten Wahrnehmungen in Bezug auf unsern Gegenstand fasst er selbst in folgenden Sätzen zusammen:

„Der Zusammenhang zwischen der Weingärung und der Entwicklung des Zuckerpilzes ist also nicht zu verkennen und es ist höchst wahrscheinlich, dass letzterer durch seine Entwicklung die Erscheinungen der Gärung veranlasst. Da aber zur Gärung, ausser dem Zucker, ein stickstoffhaltiger Körper notwendig ist, so scheint es, dass dieser ebenfalls eine Bedingung zum Leben jener Pflanze ist, wie es denn an und für sich sehr wahrscheinlich ist, dass jener Pilz Stickstoff enthält.“

Man erkennt namentlich in diesen Sätzen auch den vorsichtigen Forscher, der, eingedenk der empirischen Begründung der Naturwissenschaften, nicht über die ermittelte Thatsache hinausgeht und deshalb am wenigsten den Spott verdient hat, der kurz nachher von einer mächtigen Gegenpartei auf die vitale Gärungstheorie ausgegossen werden sollte.

Ausser Schwann und Cagniard de Latour hat sich nun noch ein dritter, veranlasst durch die Beobachtungen des letzteren, fast um die gleiche Zeit in

*) Diese Schlussfolgerung ward Schwann durch ein auf mikroskopische Untersuchungen gestütztes Gutachten von Mayen bestätigt (ebenda p. 190). Später hat Quevenne die erhebliche Widerstandsfähigkeit von Hefezellen gegen arsenige Säure nachgewiesen.

demselben Sinne ausgesprochen, aber nur gestützt auf sehr einfache mikroskopische Beobachtungen, so dass sich die von ihm erlangten Ergebnisse vornehmlich durch eine gewisse Naivität auszeichnen, welche es ihm erlaubte, sich gegen die öffentliche, auf grossen Autoritäten basierende Meinung auszusprechen. Turpin hatte 1838 die Bierhefe während ihrer raschen Vegetation, die sie bei der stürmischen Gärung des Bieres zeigt, mit Hilfe des Mikroskopes beobachtet und nicht angestanden, dieselbe als lebenden Organismus zu bezeichnen, der eben durch Vollzug seiner Lebenserscheinungen die Gärung der Bierwürze veranlasse*).

Trotz dieser mehrfachen Belege und der vielseitigen Bearbeitung der vorliegenden Frage drangen die neugewonnenen Anschauungen nicht durch gegenüber dem konservativen Sinne der herrschenden Schulen, welche die öffentliche Meinung wenigstens im grossen und ganzen beherrschten. Ja, in Deutschland ward die vitale Gärungstheorie so derb von einem schlecht verlarvten Anonymus in einer vom künstlerischen Standpunkte aus wohl gelungenen Satire verspottet, dass man nach derselben und noch mehr nach der Thatsache, dass diese Schrift in einer unserer ersten und ernstesten wissenschaftlichen Zeitschriften**) Aufnahme fand, die Sicherheit der Herrschaft der entgegenstehenden Ansichten bemessen kann.

Die Spottschrift ist in der That dieses Umstandes wegen so interessant, dass ich mir nicht versagen kann, dieselbe auszugsweise hier mitzuteilen. Der Übermut, der sich in derselben ausspricht, erinnert nur allzusehr an den durchaus ähnlichen Versuch, die chemische Substitutionstheorie lächerlich zu machen, nur mit dem Unterschiede, dass derselbe in unserem Falle noch vollständiger zu Schanden werden sollte. Indessen müssen wir gerecht sein und müssen zugestehen, dass die vitale Theorie in der damaligen Zeit für Chemiker gleichzeitig absonderlich und äusserst wohlfeil erscheinen musste, und daher die Zähigkeit, die sich ihrer Adoption gegenüberstellte, bis zu einem gewissen Grade gerechtfertigt ist. Die Hauptsätze der anonymen Abhandlung lauten folgendermaassen: „Ich bin im Begriff, eine neue Theorie der Weingärung zu entwickeln. Ich bin dieser bis jetzt so unbegreiflichen Zersetzung auf die einfachste Weise von der Welt auf die Spur gekommen und betrachte sie völlig als abgemacht. Auch diese Entdeckung beweist wieder, wie einfach die Mittel sind, deren sich die Natur bedient, um die wunderbarsten Erscheinungen hervorzu- bringen. Ich verdanke sie der Anwendung eines vortrefflichen Mikroskopes . . .

„Mit Wasser zerteilte Bierhefe löst sich unter diesem Instrumente auf in unendlich kleine Kügelchen, welche kaum $\frac{1}{300}$ Linie im Durchmesser haben, und in feine Fäden, die unverkennbar eine Art Eiweiss sind. Bringt man diese Kügelchen in Zuckerwasser, so sieht man, dass sie aus Eiern von Tieren bestehen: sie schwellen an, platzen, und es entwickeln sich daraus kleine Tiere, die sich mit einer unbegreiflichen Schnelligkeit auf die beispielloseste Weise vermehren. Die Form dieser Tiere ist abweichend von jeder der bis jetzt beschriebenen Arten, sie besitzen die Gestalt einer Beindorf'schen Destillierblase (ohne den Kühlapparat). Die Röhre

*) Auch Kützing hat beinahe um dieselbe Zeit die Organismennatur auf Grund eigener Beobachtungen behauptet. Vgl. Journ. f. prakt. Chemie, Bd. 11, p. 387.

**) Annal. d. Pharmacie, Bd. 29, p. 100.

des Helms ist eine Art Saugrüssel, der inwendig mit feinen $\frac{1}{2000}$ Linie langen Borsten besetzt ist, Zähne und Augen sind nicht zu bemerken; man kann übrigens einen Magen, Darmkanal, den Anus (als rosenrot gefärbten Punkt), die Organe der Urinsekretion deutlich unterscheiden. Von dem Augenblicke an, wo sie dem Ei entsprungen sind, sieht man, dass diese Tiere den Zucker aus der Auflösung verschlucken, sehr deutlich sieht man ihn in den Magen gelangen. Augenblicklich wird er verdaut und diese Verdauung ist sogleich aufs bestimmteste an der erfolgenden Ausleerung von Exkrementen zu erkennen. Mit einem Worte, diese Infusorien fressen Zucker, entleeren aus dem Darmkanal Weingeist und aus den Harnorganen Kohlensäure. Die Urinblase besitzt im gefüllten Zustande die Form einer Champagnerbouteille, im entleerten ist sie ein kleiner Knopf; man beobachtet nach einiger Übung, dass sich in ihrem Innern eine Gasblase bildet, die sich bis ins zehnfache vergrößert; durch eine Art von schraubenförmiger Drehung, welche das Tier durch ringförmig um die äusseren Körperteile gehende Muskeln nach Willkür hervorbringen kann, wird die Entleerung der Blase bewirkt. Ich halte es für ausserordentlich wahrscheinlich, dass hierbei dasselbe stattfindet, wie wenn die galvanische Elektrizität durch einen Metalldraht geleitet wird . . .

„Ohne auf diese Hypothesen weiter einzugehen, sieht man also aus dem Anus dieser Tiere unaufhörlich eine spezifisch leichtere Flüssigkeit in die Höhe steigen und aus ihren enorm grossen Genitalien*) spritzt in sehr kurzen Zwischenräumen ein Strom von Kohlensäure.

„Wird die Flüssigkeit zum Sieden erhitzt, so hört die Gärung auf, dadurch, dass die Tiere in der hohen Temperatur getötet werden. Setzt man schwefelige Säure, ein Übermaass von Weingeist, eine Mineralsäure oder Holzessig hinzu, so sterben sie ebenfalls und die Gärung wird dadurch unterbrochen. Ist die Quantität des Wassers zu gering, d. h. die des Zuckers zu gross, so tritt bekanntlich die Gärung nicht ein. Dies rührt daher, weil diese kleinen Wesen in der dicken Flüssigkeit ihren Platz nicht oder nur mit grosser Anstrengung wechseln können, sie sterben an Unverdaulichkeit infolge des Mangels an Bewegung. Um nur eine Idee der Vergleichung der Verdauungskraft dieser Tiere zu geben, lege ich die Angabe von Thénard zu Grunde, wonach drei Teile Bierhefe eine Zersetzung von 200 Teilen Zucker in Weingeist und Kohlensäure zu bewirken vermögen. Die Exkremente dieser Tiere, welche in 18 Stunden entleert werden, wiegen also nahe 66mal so viel als die Tiere selbst . . .

„Ich habe bemerkt, dass das Solanin brechennerregend auf diese Infusorien wirkt; setzt man einer in voller Gärung sich befindenden Zuckerauflösung Solanin zu, so sieht man die Tiere sich vertikal zusammenziehen, und aus ihrem Saugrüssel strömt eine Flüssigkeit heraus, welche unstreitig das Fuselöl der Kartoffeln ist, denn es lässt sich darin nachweisen

*) Diese Stelle verrät am deutlichsten das Entstehen der Satire in dem Kopfe eines spezifischen Chemikers. Ein nur halbwegs mit den physiologischen Wissenschaften vertrauter Schriftsteller würde bei niedrigen Tieren nicht die Harnwerkzeuge und die Genitalien als identisch angesehen haben.

„Das merkwürdigste ist nun die chemische Zusammensetzung dieser Tiere. Ich habe 0,4375 gr der Analyse auf gewöhnlichem Wege mit Kupferoxyd unterworfen, es hat sich in übereinstimmenden Versuchen ergeben, dass sie die vier Elemente in einem solchen Verhältnis enthalten, als beständen sie aus Eiweiss, Äther und Kohlensäure.

„Daraus erklärt sich denn auch nicht allein ihr ganzer Verdauungsprozess, sondern auch der bis jetzt so dunkle Umstand, was denn eigentlich aus der Hefe nach der Gärung wird. Sobald nämlich die Tiere keinen Zucker mehr vorfinden, so fressen sie sich gegenseitig selbst auf, was durch eine eigene Manipulation geschieht; alles wird verdaut bis auf die Eier, welche unverändert durch den Darmkanal hindurchgehen; man hat zuletzt wieder gärungsfähige Hefe, nämlich den Samen der Tiere, welcher übrig bleibt. Die letzten Kadaver der Tiere zerlegen sich in Ammoniak und Spuren von Essigsäure“

In dieser Weise glaubte man die vitale Gärungstheorie, wie sie von Schwann, oder eigentlich in der Form, wie sie von Turpin entwickelt worden war, dem öffentlichen Gelächter preisgeben zu dürfen, ohne nur die experimentelle Basis derselben einer Prüfung zu unterziehen. Es ist dies einmal charakteristisch für den Autoritätsglauben, wie er damals in Deutschland herrschte und wovon auch jetzt noch ein bemerkbarer Rest vorhanden ist, aber weit mehr noch für die geringe Bekanntschaft der damaligen Chemiker mit den physiologischen Wissenschaften, während jetzt eine heilsame Überbrückung der Grenzgebiete zwischen den einzelnen, nur aus praktischen Gründen voneinander geschiedenen Disziplinen stattzufinden begonnen hat.

Bei diesem Stande der Dinge war es möglich, dass noch weitere Gärungstheorien entwickelt werden konnten, die von den Entdeckungen Schwann's und Genossen nicht die mindeste Notiz nahmen und trotzdem allgemeine Verbreitung fanden. Unmittelbar nach den Jahren, in welchen Cagniard de Latour, Schwann, Turpin ihre Ansichten entwickelten, stellte Justus von Liebig, schon damals ein um die reine Chemie hochverdienter Forscher, 1839 seine bekannte Gärungstheorie auf. Dieselbe sollte ganz allgemeiner Natur sein und nicht bloss alle die Vorgänge umfassen, die man zu dieser Zeit unter dem Begriffe: Gärung, Fäulnis, Verwesung subsummierte, sondern noch eine Reihe von anderen und selbst Prozesse aus der Mineralchemie. Sie stützte sich kaum auf irgend welche eigens zu diesem Zwecke angestellten Versuche, sondern auf die Gruppierung einer grossen Menge bekannter und häufig anscheinend sehr verschiedenartiger Vorgänge.

Es ist selbstverständlich, dass wir es in dieser hier zum Teil wiederzugebenden allgemeinen Gärungstheorie mit einer geistreichen und einleuchtenden Kombination zu thun haben, dafür bürgt der Name des Urhebers. Wir werden zugleich aber auch nüchtern zu prüfen haben, ob die Theorie allen feststehenden Thatsachen gerecht wird, und ob sie bei tieferem Eingehen die zu erklärenden Thatsachen unserem Verständnisse näher bringt. Von einer völligen Reproduktion der Liebig'schen Anschauungen kann übrigens bei der Ausgedehntheit derselben und der nur teilweise vorhandenen Bezüglichkeit zu unserem Gegenstande nicht die Rede sein. Auch ist die Darstellungsweise unseres grossen Landsmannes als keineswegs streng logisch

aufbauend und entwickelnd, sondern die Gegenstände mehr durch meteorartige Gedankenblitze vorübergehend erleuchtend und durch unvollkommene Analogieschlüsse überredend, bekannt genug, um nicht die Unvollständigkeit einer abgekürzten Wiedergabe zu entschuldigen. Vielleicht wird man selbst an einigen Stellen über schlechte Übereinstimmung mit dem Originalen klagen können, aber, denke ich, nur weil im Originalen selber nicht alle niedergeschriebenen Gedanken in Harmonie zu einander gebracht sind.

Vor allem ist für die berühmte Liebig'sche Gärungstheorie die Verwandtschaft mit der hundert Jahre früher von Stahl aufgestellten auf der Hand liegend*). Beide gehen von dem Grundsatz aus, dass Gärungserreger in Zersetzung befindliche Körper seien, welche diese eigene Zersetzung auf andere Körper von an sich stabilerer Natur übertragen. Von beiden wird zur Erklärung dieser ansteckenden Fähigkeit eine Hypothese zu Hilfe genommen, die der Molekularmechanik angehört und voraussetzt: 1) dass die kleinsten Teilchen sich zersetzender Körper in Bewegung seien, 2) dass diese Bewegung in einer gemeinschaftlichen Auflösung beider Körper (Gärungserreger und Gärungssubstrat) von dem einen Körper auf den andern sich notwendig übertragen müsse. — Die Gärungstheorien beider Forscher sind also wesentlich identisch. Man kann aber zu Gunsten der Liebig'schen Anschauung geltend machen, dass von ihm zuerst geschickt gewählte Beispiele aus allen Gebieten der Chemie ins Feld geführt worden sind, welche auf diese Weise eine plausible Erklärung gemeinschaftlich mit den Gärungserscheinungen zu finden schienen. Als solche Beispiele mögen hier angeführt sein: Metallaufösungen durch Säuren, welche ein bestimmtes Metall an sich nicht zu lösen vermögen, dies aber dennoch thun, wenn es mit einem anderen leicht löslichen legiert ist, so Platin in Salpetersäure, wenn es mit Silber zusammengeschmolzen ist, und viele andere. Hier ist das in Salpetersäure sich lösende Silber das mitwirkende Agens, wenn man den Ausdruck nicht scheut, der Gärungserreger. Das Platin, an sich in Salpetersäure stabil, wird durch die vorhandene Bewegung angesteckt und in die gleiche Umsetzung mit fortgerissen. Als Substrat eines solchen Ansteckungsprozesses sollen vorzüglich Stoffe dienen, welche, wie Liebig sich ausdrückt, „durch die Kraft der Trägheit bestehen“, d. h., wie wir es heute korrekter fassen, welche nur durch schwache chemische Kräfte zusammengehalten werden und bei denen daher leicht bei einer erfolgenden Umlagerung Kräfte frei werden können, so dass der Zersetzungsprozess vom Standpunkte der mechanischen Wärmetheorie ähnlich einer chemischen Bindung erscheint und explosionsartig fortzuschreiten vermag. So werden angeführt unterchlorige Säure, Chlorstickstoff und namentlich Wasserstoffhyperoxyd, welches letztere seinen Sauerstoff sogar während der Sauerstoffentwicklung aus irgend einem anderen Hyperoxyde in einem gemeinschaftlichen Medium mit besonderer Leichtigkeit abgibt. Auch der Zerlegung des kohlensauren Silberoxyds unter dem Einflusse von Pyro-

*) Auch Colin hatte schon einige ähnliche Ansichten produziert, wenn er sagte: „Enfin, je terminerai en rappelant qu'un ferment doit être considéré comme une matière, dont la présence détermine une rupture d'équilibre“. Doch laufen seine Vorstellungen schliesslich auf elektrische Kräfte hinaus. Vgl. Ann. d. chim. et phys. (2), T. 28, p. 138.

traubensäure, wobei metallisches Silber resultiert, wird die Deutung gegeben, als entweiche direkt nur Kohlensäure unter dem Einflusse der stärkeren Säure, mit der Kohlensäure werde aber dann der Sauerstoff mitgerissen, indem auch hier die weitergehende Zersetzung durch den mechanischen Anstoss der erst stattfindenden veranlasst werde.

Für alle diese verschiedenartigen Vorgänge wird die eine Erklärung in Anspruch genommen, welche auch für das Verständnis sämtlicher Gärungserscheinungen Dienste leisten soll. Als Vorbild für den ganzen Erklärungsversuch dient augenscheinlich die Entzündungstemperatur bei den Verbrennungsercheinungen. Auch hier müssen ja die Körper, welche dem Prozesse unterliegen sollen, in Bezug auf ihre kleinsten Teile (gerade nach unseren neueren Vorstellungen) in einen gewissen Zustand der Bewegung versetzt werden, den wir als eine bestimmte Temperatur, speziell Verbrennungstemperatur bezeichnen. Ein verbrennender und vermöge der Verbrennung hoch erhitzter Körper ist in einem gewissen Sinne contagiös, weil er andere, bis dahin im chemischen Gleichgewichte befindliche Körper auf diese Entzündungstemperatur zu erhitzen vermag. — Dafür, dass gerade mechanische Vorgänge chemische Aktionen zu veranlassen vermögen, werden von Liebig auch die Ausscheidungsverhältnisse übersättigter Krystalllösungen herangezogen, die bekanntlich durch Reibung der Gefässwände, Berührung mit eckigen Körpern zum Absetzen von Krystallmassen veranlasst werden.

Die Anwendung dieser ganz allgemeinen Grundsätze speziell auf die Gärungserscheinungen oder gar allein auf die alkoholische Gärung gestaltet sich nun folgendermaassen. Der Zucker, resp. die übrigen Gärungssubstrate werden als Körper von einiger Stabilität, aber doch als von sehr geringfügigen chemischen Kräften zusammengehalten, aufgefasst. Das Zuckermolekül soll nach der Liebig'schen Ausdrucksweise nur durch die Trägheit seiner Elemente bestehen, und es wird hierfür sowohl das Verhalten des Zuckers gegen viele Reagentien, als seine theoretische Konstitution als Beleg angeführt.

Die Hefe wird als ein an sich leicht zersetzbarer stickstoffhaltiger organischer Körper aufgefasst, der diese Zersetzung auf den Zucker übertrage. Als Beweismittel für diese Anschauung wird in Anspruch genommen die Thatsache der Leichtzersetzbarkeit (Fäulnis) der sich selbst überlassenen feuchten Hefe, die von Thénard seiner Zeit gemachte Beobachtung*), dass sich die Hefe während der Gärung in reiner Zuckerlösung kontinuierlich vermindere (eine Angabe, die nur für bestimmte Verhältnisse korrekt ist), ferner der Nachweis**), dass sich die Hefe durch beinahe beliebige andere leichtzersetzbare stickstoffhaltige organische Stoffe vertreten lasse (was in dieser Form ausgedrückt geradezu falsch ist)***).

*) Ann. d. chim. et phys., T. 46, p. 294.

**) Auf einige richtige Angaben Colin's aus dem Jahre 1825 sich stützend. Vgl. Ann. d. chim. et phys. (2), T. 28, p. 128.

***). Auch war zu jener Zeit eine Angabe Döbereiner's, die auf Anwendung einer fehlerhaften analytischen Methode beruhte, populär, nämlich, dass sich aus dem Stickstoff der Hefe während der Gärung Ammoniak bilde, was natürlich auf eine ganz regelmässig erfolgende Zersetzung der Hefe bei der Gärung gedeutet wurde.

Wie sich der berühmte Urheber der Theorie sodann Gärung, Fäulnis, Verwesung, die alle durch dieselbe Veranlassung zu stande kommen sollen, voneinander geschieden denkt, hat an dieser Stelle ein untergeordnetes Interesse für uns. Es sei nur bemerkt, dass die Gärung als ein spezieller Fall der Fäulnis aufgefasst wird, in welchem das Gärungssubstrat ein stickstoffreies ist, und dass bei der Verwesung der freie Sauerstoff der Atmosphäre in die Aktion eintritt, so dass z. B. die Essigbildung aus Alkohol als eine Verwesung sich darstellt. Mit den so gegebenen Definitionen knüpfte Liebig teilweise an den bestehenden Sprachgebrauch an, denselben nur konsequenter durchbildend, und so kommt es, dass damit etwas Dauerndes für unsere Begriffsbestimmungen geschaffen worden ist.

Unsere Aufgabe wird es nun zunächst sein, die skizzierte Gärungstheorie einer Kritik zu unterwerfen, d. h. zu prüfen, ob dieselbe auch das leistet, was wir von einer Theorie billigerweise erwarten dürfen, dass wir nämlich mit Hilfe einer solchen eine Reihe von bis dahin ungeordnet nebeneinander stehenden Thatsachen in ihrer Notwendigkeit begreifen lernen, und dass dieselbe zweitens in keinem Stücke erfahrungsmässigen Thatsachen oder auch nur anderen Theorien von einer höheren Bedeutung für die Wissenschaft widerspricht. Sind derartige Widersprüche leicht darzulegen, so können wir uns die Mühe der ersten Untersuchung sparen.

Wir können bei unserem Verfahren darüber hinwegsehen, dass von Liebig die organisierte Natur der Hefe ganz vernachlässigt worden ist*), dass er mit anderen Worten für die Gärungserscheinungen eine Erklärung rein chemischer und physikalischer Natur versuchte. Wir wollen nur sehen, inwieweit die aufgestellte Theorie den damals allgemein anerkannten Thatsachen entsprach.

Zunächst das Erklärungsprinzip. Sich zersetzende oder überhaupt in chemischer Aktion befindliche Körper sollen in einer heftigen molekularen Bewegung begriffen sein, die sich leicht auf andere Stoffe überträgt. — Unsere chemischen Anschauungen setzen allerdings für das Stattfinden eines jeden Chemismus eine neue Atomgruppierung als eine Bewegung voraus. Allein, ob man die Konsequenzen dieser bildlichen Vorstellung in Bezug auf die Möglichkeit der Übertragung der Bewegung ziehen darf**), darüber entscheidet doch lediglich die Erfahrung, ob chemische Aktionen ganz im allgemeinen ansteckend wirken. Ist dies nicht der Fall, so haben wir uns eben unsere Vorstellungen von der Atombewegung entsprechend zu modifizieren. Es kommt also alles auf die Frage hinaus: sind chemische Aktionen, insbesondere Zersetzungen auf anders geartete chemische Körper übertragbar?

*) Er hielt dieselbe für eine nichts bedeutende Komplikation; siehe Handwörterbuch d. Chemie, 1848, III, p. 232.

**) Liebig macht sich allerdings die Argumentation in dieser Beziehung ziemlich leicht, wenn er sagt: „Wenn aber, wie sich aus dem Vorhergehenden ergibt, die mechanische Bewegung schon hinreicht, um bei vielen Körpern eine Form- und Zustandsänderung zu bewirken, so kann es um so weniger zweifelhaft erscheinen, dass ein im Zustand der Verbindung oder Zersetzung begriffener Körper fähig ist, gewissen anderen Körpern den nämlichen Zustand der Bewegung oder Thätigkeit zu erteilen, in welchem sich seine Atome befinden, durch seine Berührung also mit andern Körpern diese zu befähigen, Verbindungen einzugehen oder Zersetzungen zu erleiden (die Chemie i. i. A. etc., 1843, p. 350).

Liebig führt für die Bejahung dieser Frage eine grosse Anzahl von Beispielen ins Feld. Einzelne der Beispiele sind nach unsern heutigen chemischen Vorstellungen nicht mehr ganz stichhaltig. Wir wollen uns an die besseren derselben halten.

Da lösen sich Legierungen in Säuren, deren Einzelmetalle diese Reaktion zum Teil nicht zeigen und also gleichsam durch den leichter zugänglichen Gefährten mitgerissen werden. — Doch das Platin löst sich nicht in Legierungen mit vielen andern Metallen, welche auch wie das Silber durch Salpetersäure aufgenommen werden.

Da wird die Zersetzung des Wasserstoffhyperoxyds durch andere Oxyde und namentlich Metallhyperoxyde aufgeführt, während diese gleichzeitig eines Theils ihres Sauerstoffs verlustig gehen. — Auch hier ist die Zersetzung keines der beiden an der Reaktion teilhabenden Oxyde die spontan erfolgende, sondern wir haben es mit einem nach gewöhnlichen chemischen Grundsätzen vielleicht seltsamen*) Aufeinanderwirken zweier Superoxyde zu thun, dessen Resultat die Reduktion eines jeden ist. Dass metallisches Platin im fein verteilten Zustande eine analoge Wirkung auf Wasserstoffsuperoxyd hat, gehört begreiflicherweise noch weniger hierher und es ist nicht recht ersichtlich, in welchem Sinne dieselbe angeführt wird**).

Weiter figurieren in auffallender Eintracht mit den eben angedeuteten Erscheinungen auch Zersetzungsprozesse, die nun wirklich durch mechanische Bewegung eingeleitet werden. Es ist unnötig, für diese Kategorie die zufällig von Liebig angeführten Beispiele namhaft zu machen. Ihre Zahl ist Legion. — In das gleiche Kapitel gehört natürlich auch die angezogene Abhängigkeit krystallinischer Abscheidungen aus übersättigten Lösungen von mechanischen Anstössen. — Hier haben wir es mit dem Einfluss der grob sinnlichen Bewegung, und speziell derjenigen Bewegung, die sich soeben in Wärme umsetzt, d. i. mit Reibung und Stoss zu thun. Ob die Atombewegung, die wir chemische Aktion nennen, etwas Ähnliches zu leisten imstande ist, das ist ja eben die Frage. Von dem Entscheid dieser Frage ist es natürlich abhängig, ob unsere Vorstellung von der inneren Ursache der sinnlich wahrnehmbaren chemischen Veränderung nicht geändert werden muss. Es ist also, um mit dem Logiker zu reden, eine *petitio principii*, wenn man die fraglichen Beispiele als Belegstellen für die Übertragbarkeit der Bewegung der kleinsten Teilchen, d. i. der chemischen Erscheinungen von einem Körper auf den anderen benachbarten, vorführt.

Aber abstrahieren wir von den Liebig'schen Beispielen. Dieselben könnten unglücklich gewählt, und dennoch die Theorie auf erfahrungsmässig erhärtete That-sachen begründet sein. — Legen wir uns also die Frage vor: Wirken chemische Prozesse im allgemeinen ansteckend aufeinander, oder giebt es wenigstens spezifische Körperklassen, die leicht mit in die Aktion eines andern, der im Ruhestand nicht auf sie reagiert, mit hineingerissen werden?

Der erste Teil dieser Frage trägt schon etwas wie Verneinung an sich, denn von *Ansteckung* ist doch sonst nur im organischen Reiche die Rede, und gerade,

*) Schönbein hat bekanntlich die Reaktion durch die Annahme von positivem und negativem Ozon in den Superoxyden zu erklären versucht, woraus das Gesagte hervorleuchtet.

**) Vgl. auch die Bemerkungen von Berzelius über die Liebig'schen Beispiele: dessen Jahresbericht, Bd. 20, p. 454; ebenso die von Helmholtz: Journ. f. prakt. Chemie, Bd. 31, p. 434, und die von L. Gmelin: dessen organ. Chemie, Bd. 4, 1848, p. 97.

um sie zu erklären, mussten wir die von den gewöhnlichen chemischen Prozessen abweichenden Gärungen, Fäulniserscheinungen, contagiösen Wirkungen etc. als Vorgänge besonderer Art unterscheiden. Aber auch bei näherer Prüfung müssen wir diese Frage verneinen. Wir können selbst in Auflösungen von Körpern, die mit schwachen Affinitäten zusammengehalten werden, sich andersartige chemische Vorgänge abspielen lassen*), ohne dass wir je eine Übertragung befürchten (es sei denn, dass der betreffende Stoff selbst mit in diesen Chemismus hineingerissen wird), womit die versuchte Erklärungsweise als ein besonders neues Prinzip hinfällig wird.

Am meisten scheinen noch die Beispiele der sog. *Sauerstoffübertragung* in dem Liebig'schen Sinne etwas zu beweisen. Um ein chemisch aufgeklärtes Beispiel anzuführen, sei nochmals an die Rolle des Stickoxydes bei dem Schwefelsäurebildungsprozesse erinnert. Das Stickoxyd, selbst leicht oxydierbar, scheint die schwefelige Säure in den Oxydationsprozess mit fortzureissen. Doch in Wahrheit handelt es sich nicht um eine Art von Ansteckung; sondern die schwefelige Säure, mit einer grösseren Affinität für Sauerstoff begabt, aber aus einem uns unbekannten Grunde nicht befähigt, diese Affinität dem freien Sauerstoff gegenüber zu äussern (eine Eigenschaft, welche man der neueren Terminologie zufolge etwa als einen Mangel an Avidität bezeichnen müsste) entreisst denselben der Salpetersäure, diese in Stickoxyd zurückverwandelnd. Also auch hier bei näherem Hinblick kein Vorgang, der in dem Liebig'schen Sinne zu verwerten wäre, wenn wir in ihm auch ein Analogon für die eigentlichen Fermentwirkungen anerkennen müssen.

Mit dem Gesagten ist nun eigentlich die spezielle Frage, ob der Zucker ein chemischer Körper ist, bei dem man besonders eine Mitleidenschaft der geforderten Art voraussetzen darf, schon erledigt. Allein es bleibt doch noch darauf hinzuweisen, wie wenig der Zucker ein Körper ist, der sein Bestehen „der Trägheit“ seiner Atome verdankt, so dass man ihn in dieser Hinsicht mit übersättigten Salzlösungen vergleichen könnte, die nur eines geringen Anstosses bedürfen, um ihre Atome neu zu ordnen. Derartige Körper, bei deren Umlagerung Arbeit nach aussen hin erzeugt wird, pflegen durch einen geringen, nun in Wahrheit mechanischen, Anstoss explosionsartig Zersetzung zu erleiden. Allein hat der Zucker mit diesen die entfernteste Ähnlichkeit? — Zersetzt sich derselbe bei Berührung oder durch Schlag**), und giebt er, wenn man ihn auf irgend eine Art zur Zersetzung zwingt, die nämlichen Zersetzungsprodukte wie bei der alkoholischen Gärung? Dieser letztere Gesichtspunkt, obgleich nur wenig beachtet, wäre auch für sich allein bei-

*) Dass speziell die alkoholische Gärung nicht durch anderweitige in der Zuckerlösung verlaufende Reaktionen, z. B. Zersetzung von Wasserstoffhyperoxyd, veranlasst wird, hat in später Zeit noch Dumas besonders experimentell nachzuweisen für nötig erachtet. Vgl. Compt. rend., 1872, août 5.

**) Liebig beruft sich dabei auf die grosse Atomzahl der Moleküle organischer Körper und auf den Erfahrungssatz, dass, je grösser die Anzahl der Atome innerhalb des Moleküls, um so geringer die Stabilität eines Körpers. Allein der Zucker ist noch einer der einfacher zusammengesetzten organischen Körper, und jener Satz erleidet seine grossen Einschränkungen, da es auf die nähere Atomstruktur ankommt. Es ist ausserdem keineswegs richtig, dass sehr einfach zusammengesetzte organische Stoffe vor Gärungserscheinungen geschützt sind.

nahe von entscheidender Wichtigkeit, obschon im bejahenden Falle eine solche Möglichkeit noch nichts im Liebig'schen Sinne entscheiden würde.

Was dann insbesondere den Gärungserreger angeht, so ist es freilich wahr, dass die Hefe, sich selbst überlassen, sehr leicht Zersetzung erleidet. Dass sie dies während der normalen alkoholischen Gärung nicht thut, war wenigstens zu Liebig's Zeiten noch durch die scheinbar entgegengesetzten Beobachtungen Thénard's und Döbereiner's verdeckt, und die gewaltigen Hefeproduktionen in der Praxis der Gärungsgewerbe wurden erklärt durch Herausfallen gelöster Fermentstoffe unter dem Einflusse des atmosphärischen Sauerstoffs oder auf eine ähnliche Weise. Diese Widersprüche dürfen also speziell Liebig nicht zur Last gelegt werden. Eher könnte man daran erinnern, dass nicht ein jeder leicht zersetzbare organische Stoff als Gärungserreger dienen kann; allein auch in dieser Beziehung war die herrschende Meinung durch die Versuche Colin's bis zu einem gewissen Grade irregeleitet; auch hätte es ja eigene Ursachen für diese Besonderheiten geben können.

Ohne uns weiter auf die Schwächen und die Vorzüge der eben beleuchteten Auffassungsweise einzulassen, können wir wohl aussprechen, dass dieselbe in keine ganz befriedigende Übereinstimmung mit den schon zur damaligen Zeit bekannten Thatsachen gebracht werden kann, und dass das ganze zu Grunde gelegte Erklärungsprinzip einigermaassen in der Luft schwebt*). Wir sind daher der eingehenderen Prüfung dessen überhoben, was das Erklärungsprinzip für unsern zunächst zu behandelnden Fall zu leisten vermag, wenn wir die Organisation der Hefe als eine gleichgültige äusserliche Erscheinungsform ignorieren. Mit unserm heutigen Maassstabe gemessen, könnten wir freilich der mechanischen Gärungstheorie einige derbere Einwürfe nicht ersparen. Wir müssten dann auf die Begriffe der mechanischen Wärmetheorie von dem Wesen der Bewegung der kleinsten Theilchen und auf den äusseren Effekt dieser Bewegung aufmerksam machen; allein es wäre unbillig, so zu rechnen, namentlich da auch die Liebig'sche Theorie, wie wir später sehen werden, im Laufe der Zeiten ein anderes Gewand angezogen hat.

Für den chemischen Historiker späterer Zeiten wird es sicherlich ein Gegenstand der Verwunderung bleiben, wie trotz dieses konstatierten Verhältnisses die sogenannte mechanische Gärungstheorie sich einer fast ungetheilten Herrschaft bis über die Grenzen ihres Vaterlandes hinaus zu erfreuen hatte. Wir, der Zeit noch nicht entwachsen, in welcher die für und gegen jene Theorie sich äussernden Meinungen aufeinandergeplatzt sind, werden uns nur ein unvollständiges Urtheil über die Gründe dieser Erscheinung bilden können. Einstweilen ist es eine unleugbare Thatsache, dass sich die jüngern Zeitgenossen in überschwenglichster Weise über die Fruchtbarkeit der Liebig'schen Idee aussprachen, die sie die Einführung eines

*) Auf viele Inkonvenienzen der Liebig'schen Gärungstheorie hat auch Balling (dessen Gärungschemie, 1845, I, p. 168 u. ff.) aufmerksam gemacht. — Auch ist an diesem Orte noch hinzuzufügen, dass man bei Acceptierung dieser Theorie niemals recht einzusehen vermochte, warum eine und dieselbe Substanz unter einander sehr nahestehenden Verhältnissen in so ganz verschiedene Produkte zerfallen kann, wie z. B. der Zucker bei der Alkohol- und Milchsäuregärung, während bei einer vitalen Theorie die Notwendigkeit einer Erklärung hierfür uns wenigstens noch eine Zeit lang erspart wird.

grossartigen neuen Erklärungsprinzips in die Chemie *) nannten, als wenn es sich wirklich um eine exakte physikalische Grundlage der chemischen Erscheinungen — wie wir eine solche seit lange anstreben — handelte. Soweit sind wir aber wenigstens heute schon dem Banne jener Autorität entrückt, dass uns jetzt solche Worte als eine garstige Lohhudelei erscheinen. — Was aber am meisten einen Maassstab bildet für die Macht jener Anschauungen, ist doch die Thatsache, das in einer so einseitig empirischen Zeit, wie sie die Mitte unseres Jahrhunderts darstellt, die klaren experimentellen Ergebnisse unabhängig voneinander arbeitenden angesehenen Forscher**), die jenen Vorstellungen direkt widersprachen, beiseite geworfen werden konnten, so dass erst nach 20 Jahren eine Beweisführung von seltener Eleganz ihnen wieder zu ihrem offenbaren Rechte verhalf. Ist es doch, als wenn man die Armseligkeit der rein empirischen Richtung tief empfunden hätte und darum so mächtig angezogen worden wäre von dem leuchtenden Geiste der Liebig'schen Darlegung, während zugleich der kritische Sinn für die Prüfung allgemeiner Anschauungen auf ihre Berechtigung bei der handwerksmässigen Jagd nach neuen Thatsachen verloren gegangen war. Dazu kam dann der Autoritätsglaube, gezeugt von der gleichen Mutter und einem sehr ehrwürdigen Vater, der deutschen Pietät.

Übrigens fand die Liebig'sche Lehre auch in Frankreich trotz Cagniard de Latour und Turpin Anerkennung. Frémy und Boutron suchten sie auf die Milchsäuregärung anzuwenden. Aber ein Franzose war es doch, der nachmals berufen war, dieselbe umzustossen, soviel auch Deutsche bis dahin den schlagenden Entdeckungen desselben vorgearbeitet hatten.

Was sich unterdessen hinsichtlich der Dinge, die hier unser Interesse in Anspruch nehmen, ereignet hat, lässt sich in wenigen Zeilen zusammenfassen. Neben der herrschenden Liebig'schen Anschauung bestanden nur die ziemlich vernachlässigten Meinungen anderer Autoritäten. Berzelius***) hatte sich gegen Liebig, zugleich aber auch gegen Schwann ausgesprochen, indem er an einer früheren Erklärung, die scheinbar organisierte Form der Hefe sei die natürliche Beschaffenheit eines amorphen Niederschlags, festhielt. Wir erkennen daraus wieder die geringe Bewanderung selbst grosser Chemiker in den Grenzgebieten der eigenen Wissenschaft — eine Erscheinung, die heute vielleicht um ein wenig seltener geworden ist.

Schon Helmholtz hat damals auf dieses Verhältnis in seiner Arbeit über Gärung mit den Worten hingewiesen: „Von vielen unserer grössten Chemiker wurden jedoch die meisten Facta, worauf sich diese Ansicht stützt (dass die Zersetzung gärungsfähiger Gemische nur Folge des Lebensprozesses niedriger Organismen sei),

*) Vgl. z. B. Schlossberger: Ann. d. Chem. u. Pharm., Bd. 51, p. 194.

**) Allerdings bleibt zu berücksichtigen, dass auch einige entgegenstehenden Angaben veröffentlicht waren, so die von Brendecke (Pharm. Centralbl., 1844, p. 885 und 1845, p. 856), deren Wert allerdings durch eine Zusammenstellung von Liebig selbst erhellt; vgl. Handwörterbuch d. Chemie, 1848, Bd. III, p. 233. Vgl. auch C. Schmidt: Ann. d. Chem. u. Pharm., Bd. 61, p. 168 und andererseits Wagner: Journ. f. prakt. Chemie, Bd. 45, p. 241.

***) Berzelius: Jahresber. 20, p. 452; Compt. rend. d. travaux d. Chimie, 1843 u. 45, u. Berzelius: Lehrb. d. Chemie, 1829, Bd. III, 2, p. 336.

ignoriert und als physiologische Phantasieen betrachtet. Die vegetabilische Natur der Hefe verwarfen sie, sich auf die Beobachtung Ehrenberg's stützend, dass auch unorganische Niederschläge sich zuweilen zu rosenkranzförmigen und ästigen Figuren aneinanderreihen.“

Die Erklärung, die Berzelius für den Gärungsvorgang gab, war, dass derselbe durch eine eigentümliche katalytische Kraft stattfinde, also nach unseren jetzigen Begriffen keine eigentliche Erklärung. Mitscherlich schloss sich dieser Anschauung nicht ausgesprochenermaassen, aber thatsächlich ungefähr an, obgleich er sich durch eigene mikroskopische Studien von der Vegetation und mithin von der Organisation der Hefe überzeugt hatte. Seine Anschauung gleicht mithin derjenigen, die noch viel später in betreff der Rolle des „organisierten Essigfermentes“ als eines mechanischen Sauerstoffüberträgers sehr allgemein verbreitet war und eigentümlicherweise sogar von Pasteur geteilt wurde. Mitscherlich selbst verglich seine Vorstellung mit der von der Wirkung von Platinschwamm auf Wasserstoffsuperoxyd und bezeichnete beide als Kontaktwirkungen, wodurch freilich nicht viel gewonnen war*). — Auch Berthelot hat sich damals in einem ähnlichen Sinne ausgesprochen.

Unsere Aufgabe ist vielmehr, in der Zeit, die der schlagenden Pasteur'schen Darlegung vorausgeht, die Anfänge für dessen Beweisführung aufzusuchen. Wir können hier eine kontinuierliche Reihe von sich logisch aneinander schliessenden Entdeckungen nachweisen, die mit Schwann anhebt und mit Pasteur abschliesst. Mit diesem Gegenstande werden wir uns in der nächsten Vorlesung zu beschäftigen haben.

*) Doch ist sein Erklärungsversuch verständlicher als der von Berzelius. — Ganz im allgemeinen haben aber die ausserhalb der vitalen und mechanischen Theorie liegenden Erklärungsversuche in unserem Jahrhundert wenig Glück gemacht, so namentlich auch die rein chemischen oder gar die elektrischen, wie sie einerseits von Meissner, andererseits von Kämtz, Colin und gelegentlich auch von einigen anderen unternommen worden sind. Vgl. namentlich Balling: Gärungschemie, 1845, Bd. 1, p. 155 u. f. Die Abhandlung von Mitscherlich findet sich Poggend. Ann., Bd. 135, 1843, p. 94.

Vierte Vorlesung.

Die Ursächlichkeit der alkoholischen Gärung (Schluss).

Wir knüpfen mit unserer heutigen Darstellung genau an dem Punkt an, wo wir sie in der vorigen Vorlesung verliessen.

Nachdem wir dort die Bestrebungen verfolgt haben, welche ohne, oder nur mit geringer Berücksichtigung der Thatsache, dass die Hefe wesentlich aus Organismen besteht, Licht in den Gärungsprozess zu bringen versuchten, wollen wir heute erörtern, was mit genügender Würdigung dieser Thatsache zu demselben Endzweck ausgerichtet werden konnte.

Schwann hatte, wie wir uns erinnern, die Luft, die er zu ausgekochten gärungsfähigen Gemischen hinzutreten liess, gegläht und so nachgewiesen, dass nicht der Sauerstoff der Luft als Gärungserreger diene, sondern dass dieselbe ein gewisses *Etwas* in sich schloss, *das durch hohe Temperatur zerstört werden konnte* und das unabweislich an der Gärungserregung beteiligt war. Dass dieses gewisse Etwas Organismenkeime seien, war eine zulässige Vermutung, die auszusprechen vom damaligen Standpunkte aus verzeihlich sein mochte. Wie wenig noch der abgeschlossene Beweis dafür vorlag, dies werden wir am deutlichsten nachweisen an den Abwegen, auf die ein Nachfolger Schwann's trotz viel entscheidenderer Versuche mit seinen Vermutungen geriet. Die betreffenden Versuche Schwann's sind gerade diejenigen, durch welche sich seine Arbeit so vorteilhaft von der seines Konkurrenten Cagniard de Latour auszeichnet.

Einige Experimentatoren haben zunächst die Schwann'schen Versuche wiederholt, und zwar mit technisch grösserer Vollkommenheit, so dass die Resultate als unzweideutigere Belege für den von Schwann ausgesprochenen Satz dienen konnten. In dieser Richtung ist z. B. Ure zu nennen, ohne dass es nötig erscheint, hier auf seine Experimente des näheren einzugehen. Auch Hermann Helmholtz*) hat sich in jungen Jahren mit diesem Gegenstande beschäftigt, den Schwann'schen Schluss bestätigt und namentlich den wichtigen Beweis beigebracht, dass die alkoholische Gärung *sich durch Membranen nicht fortpflanzt*, was doch nach der Liebig'schen Vorstellung vermutlich der Fall sein müsste. Für Fäulnisercheinungen missglückte dieser Versuch dagegen**), so dass wir von nun an eine Weile an der

*) Journ. f. prakt. Chem., Bd. 31, p. 429. Dies Resultat ist auf Grund von späteren Versuchen von Fleck geleugnet worden.

**) Ebenda p. 435. Die erstere Thatsache ist dann durch Döpping und Struve, in ähnlicher Weise auch von H. Hoffmann und in neuerer Zeit auch durch Dumas bestätigt worden. Wie weit jedoch bei den erstgenannten der Autoritätsglaube über die handgreifliche Erfahrung überwog, lehrt folgender Satz ihrer Abhandlung: „Diese Versuche widersprechen dem ersten Anscheine nach vollkommen dem von Gay-Lussac, stimmen aber mit den Behauptungen von Helmholtz überein; allein dem ist nicht so. Wir behaupten durch diese Erfahrung nicht, die Thatsache eines Gay-Lussac umzustossen etc. . . .“ (Journ. f.

analogen Verursachung von gewissen Fäulnis- und den Gärungsvorgängen zweifeln müssen, wie denn auch Helmholtz thatsächlich einen dahingehenden Schluss gezogen hat. Wir werden auf die Veranlassung der Fäulnis oder gewisser Fäulniserscheinungen noch später zurückkommen, jedenfalls aber eine eigene Aufklärung dieser Vorgänge für nützlich halten, zumal auch van den Broek für dieselben entgegengesetzte Versuchsergebnisse erhielt.

Als ein Fortschritt bezüglich der näheren Feststellung des gärungsveranlassenden Prinzips in der Luft ist dann das Resultat von Schultze zu betrachten, welcher durch Experimente nachwies, dass die gewöhnliche atmosphärische Luft auch *durch kräftig wirkende chemische Organismen in der Weise verändert werden konnte*, dass sie in vorher ausgekochten Gemischen keine Gärung mehr veranlasste. So wirkte z. B. konzentrierte Schwefelsäure, durch welche die Luft passieren musste, ehe sie in Berührung mit den Flüssigkeiten gelangte, in dieser Richtung.

Auch diese Versuche waren geeignet*), die Schwann'sche Annahme zu bestätigen, dass jenes gewisse durch Glühhitze zerstörbare Etwas, was an der Verursachung der Gärungserscheinungen beteiligt war, in organisierten Keimen bestehen möchte; denn Organismen erliegen bekanntermaassen samt und sonders den Einflüssen solcher Agentien.

Von weit grösserer Wichtigkeit sind jedoch diejenigen Fortschritte zu erachten, welche die Frage durch eine kleine Arbeit von Schröder und v. Dusch aus dem Jahre 1854 erhielt. Das Resultat derselben ist in kurzem dieses, dass auch in vielen Fällen, und namentlich für die eigentlichen Gärungsprozesse (weniger für die Fäulnis) — *ein blosses mechanisches Filtrieren der Luft* durch gewöhnliche reine Baumwolle genügt, um ihr alle Zersetzungswirkungen auf ausgekochte Gärungsgemische zu nehmen. Die Versuchsanstellung war auch in diesem Falle eine so einfache, dass wir einer besonderen eingehenderen Darstellung überhoben sind. Die einzige Glasröhre, durch welche die Gefässe mit der äusseren Luft kommunizierten und beim Auskochen die Wasserdämpfe entwichen, wurde unmittelbar nach dem Erhitzen mit einem Baumwollenpföpfchen versehen, so dass beim Abkühlen die langsam wieder eintretende Luft diese filtrierende Schicht passieren musste.

Ich habe gesagt, dass diese Arbeit ein bedeutungsvolleres Resultat ergab, indem wir durch dasselbe der Entscheidung der aufgeworfenen Frage wieder um ein gutes Stück näher gerückt sind. Denn was konnten sie anders sein, als organisierte Keime — *durch Hitze zerstörbare und zugleich mechanisch abfiltrierbare Stoffe* der atmosphärischen Luft? — Die Frage schien völlig entschieden. Aber doch war sie es nicht ganz, und wie nötig zu diesem Endziele das Auftreten Pasteur's mit seinen handgreiflichen Beweisen noch war, das zeigt am besten die Möglichkeit eines Rückfalles eines der beiden ebenerwähnten Versuchsansteller, wie denn ein solcher thatsächlich bei Schröder erfolgte.

pr. Chem., S. 41, p. 274). — Wäre Helmholtz damals schon der berühmte Mann gewesen, so wäre wohl das Gewicht des Autoritätsglaubens in die andere Wagschale gefallen.

*) Obschon sie bei negativem Resultate nichts gegen Schwann bewiesen haben würden, da doch die Möglichkeit besteht, dass unversehrte Keime in den Luftblasen die Schwefelsäure passieren.

Dieser nämlich machte einige Jahre später (1859) eine erneute Veröffentlichung, in welcher er z. T. die früher mit Dusch erhaltenen Resultate bestätigte, aber doch an eine ähnliche Ursache für die konstatierte Erscheinung dachte, wie in übersättigten Salzlösungen unter dem Einflusse von atmosphärischen Staubeilchen KrySTALLISATIONEN entstehen. Gewisse Beobachtungen hatten Schröder auf diesen Weg geführt, den wir heute mit Sicherheit als einen Abweg bezeichnen können. Dieser Umstand wäre nicht erwähnenswert, wenn er nicht zeigte, wie wenig abgeschlossen die ganze Frage vor dem Auftreten Pasteur's gewesen ist, trotzdem dass uns von unserem jetzigen positiven Standpunkte aus die damals angestellten Versuche schon recht beweiskräftig erscheinen.

Endlich fand Pasteur, mit seinen Arbeiten über alkoholische Gärung beschäftigt und durch eine Preisaufgabe der französischen Akademie*) angeregt, Veranlassung, seine Versuchsanstellungen über die *Frage nach der elternlosen Zeugung* (generatio spontanea) auszudehnen und so diese beiden wichtigen Themata zu einander in Beziehung zu bringen. Die Frage, ob Organismen ohne Samen oder Ei, kurz in völliger Unabhängigkeit von andern schon vorher vorhandenen Organismen Entstehung nehmen können, hatte zu allen Zeiten die grösste Aussicht auf eine bejahende Beantwortung beim Experimentieren mit organischen Aufgüssen, die bekanntermaassen der Sitz sind einer Unzahl von niedrigsten Organismen. Denn die Annahme von der Möglichkeit einer solchen generatio spontanea wurde, je weiter eine exakte Forschung um sich griff, immer auf ein kleineres und kleineres Gebiet der niedrigen und niedrigsten Lebewesen zurückgedrängt**), so dass hier endlich die Frage definitiv zu entscheiden blieb.

Zu diesen niedrigsten Organismen gehörten nun auch die in gärenden Zuckerlösungen vorhandenen Hefepilze, so dass beim Experimentieren mit solchen die doppelte Frage entschieden werden konnte, ob dieselben durch Urzeugung Entstehung nehmen könnten, und wenn dies nicht der Fall war, ob ihr Auftreten in einer wesentlichen Beziehung stünde zum Stattfinden der Alkoholgärung.

Wir geben hier keine vollständige Beschreibung der zur Entscheidung dieser Fragen angestellten Pasteur'schen Versuche, begnügen uns vielmehr, die beweiskräftigen Resultate der Arbeit kurz vorzuführen.

Einmal knüpften die Versuche ganz enge an die von Schröder und von Dusch ausgeführten an. Auch Pasteur filtrierte Luft durch poröse Medien; allein er that dies mit einer ingeniösen Modifikation, die ihm gestattete, nicht bloss die filtrierte Luft auf ihre Wirksamkeit zu prüfen, sondern andererseits auch die abfiltrierten Teilchen auf ihre Natur zu untersuchen. — Mit der gewöhnlichen Baumwolle war dieser positive Nachweis mikroskopischer Organismen, der eine notwendige Ergänzung war zu allen den vielen negativen Beweisen für deren Mitwirkung, nicht beizubringen;

*) Dieselbe ward hierzu bewogen durch Arbeiten Pouchet's (Compt. rend., 1858, p. 979), welcher für die generatio spontanea aufgetreten war.

**) Im Mittelalter liess man und ebenso lässt noch jetzt die Meinung des niederen Volkes bekanntlich eine Reihe von höheren Tieren durch elternlose Zeugung entstehen, so Würmer im Fleisch, Schlangen im Sumpfwasser, Flöhe im nassen Heu, Parasiten im Darne etc. Vgl. über diesen Gegenstand die folgende Vorlesung.

denn wie sollte es gelingen, zwischen allen den feinen Fasern einige anhängende Staubteilchen mikroskopisch auf ihre Natur zu prüfen!

Pasteur substituierte also der gewöhnlichen Baumwolle eine mechanisch ebenso beschaffene, aber in gewissen Flüssigkeiten lösliche Filtersubstanz, die Schiessbaumwolle, filtrierte durch einen aus derselben gefertigten Pfropf die Luft, löste diesen in Äther auf und sammelte schliesslich den Rückstand unter gewissen Vorsichtsmaassregeln. Dieser ergab, mikroskopisch geprüft, in der That die Gestalt der verschiedenen niedrigsten Organismen*). Allerdings hatte auch Ehrenberg schon 1848 Pilzkeime in der Luft nachgewiesen, aber nicht in diesem Zusammenhang mit der Verursachung der Gärungserscheinungen**).

Leider war es nach solcher Versuchsanstellung unmöglich, diese Organismen auf ihre Keimkraft, speziell auf ihre Fähigkeit, wahre Hefe zu erzeugen, zu prüfen, da durch die Behandlung mit Äther dieselben begreiflicherweise getötet waren. Dies war die Schattenseite dieses neuen Verfahrens. Auch musste die gleiche Behandlung durch Schrumpfung von Zellwandungen und Protoplasma etwas gestaltsverändernd auf die Organismenkeime wirken, so dass die Feststellung ihrer Identität Schwierigkeit machen musste. Deshalb war es für die Beweiskraft dieser Versuche notwendig, dass sie durch andere ergänzt wurden.

Man wird sich vielleicht wundern, warum man nicht den freiwillig aus der Atmosphäre sich ablagernden Staub als Versuchsobjekt gewählt hat, da man mit diesem noch nach der mikroskopischen Prüfung Keimungs- und Infektionsversuche vorzunehmen im Stande ist. Allein es ergab sich, dass auf diese Weise nicht wohl ein sicheres Resultat erlangt werden kann, da man so fast nur den mineralischen Staub gewinnt, während die feinen und einzelligen Organismen bei der sanftesten Regung der Luft ihren Ruheplatz zu verlassen scheinen.

Auf eine etwas andere, nicht minder sinnreiche Art hat es dann Pasteur doch möglich gemacht, direkte Aussaatversuche mit seiner Baumwolle, die mit den atmosphärischen Staubteilchen geschwängert war, zu machen, und in diesen Versuchen liegt die Hauptbeweiskraft für die von ihm vertretene Anschauung. Die Zusammenstellung der Apparate bot deshalb einige Schwierigkeit, weil es sich darum handelte, ungeglühte atmosphärische Luft nicht zu der betreffenden Flüssigkeit zuzulassen.

Zunächst waren Versuche angestellt worden, die mit diesem Hauptversuche in Beziehung stehen, und welche einfach eine Modifikation der von Schwann ausgeführten waren. Ballons mit durch Gärung veränderlichen Flüssigkeiten wurden auf die Siedhitze gebracht und ihre Öffnung in Verbindung gesetzt mit einer Röhre, die auf eine hohe Temperatur erhitzt werden konnte. Wurden nun die Ballons der freiwilligen Abkühlung überlassen, so konnte nur geglühte Luft hinzutreten. Der Erfolg war derselbe wie bei Schwann***).

*) Vgl. auch H. Hoffmann, Botan. Zeitung, 1860, p. 50.

**) Monatsber. d. Berl. Akad., 1848.

***) So wurde eine Flüssigkeit völlig abgeschlossen 18 Monate ohne Veränderung aufbewahrt. Nach dem Öffnen genügten 2 Tage, um die Zersetzung herbeizuführen.

An dieser Zusammenstellung wurde nun folgende, durch Fig. 2 angedeutete sinnreiche Veränderung vorgenommen. Zwischen dem Ballon *A* und der Glühröhre wurde ein seitlicher Hahn *b* angebracht, der den Apparat mit einer Luftpumpe in Verbindung setzte, der Ballon selbst zugeschmolzen und seine äusserste Spitze mit einem Feilenstriche versehen und wieder an seine alte Stelle gebracht. In die Verbindungsröhre wurde ein Glasröhrchen *a* mit einem durch atmosphärischen Staub infizierten Baumwollpfropfen eingeführt. Dann muss man sich noch einen Hahn *d* zwischen der Mündung der Seitenröhre zur Luftpumpe und der Glühröhre eingeschaltet denken, auch an der letzteren eine Kühlvorrichtung, um die geglühte Luft im abgekühlten Zustande zu dem Baumwollpfropfen gelangen zu lassen. — Kurz, die Zusammenstellung war so gewählt, dass es möglich war, ehe die Spitze des Ballons innerhalb der Kautschukverbindung abgebrochen und damit die Kommunikation seines Innern mit dem Röhrensysteme ermöglicht war, dieses ganze System und also das darin eingeschlossene Baumwollpföpfchen völlig mit ausgeglühter Luft zu erfüllen.

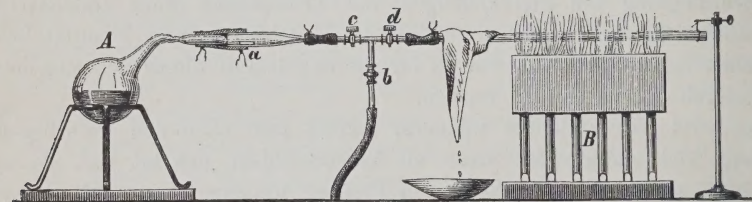


Fig. 2.

Es war hierzu nichts notwendig, als die beiden Hähne *b* und *d* abwechselnd zu öffnen und zu schliessen und die Luftpumpe arbeiten zu lassen. So wurde periodisch das Röhrensystem seiner Luft bis auf einen geringen Bruchteil beraubt, und dann wieder geglühte Luft eingeführt, bis der Vorgang oft genug wiederholt war, dass man behaupten konnte, es sei keine ungeglühte Luft in dem Raume vorhanden. War der Versuch so weit gediehen, so wurde die Spitze des Ballons abgebrochen und durch eine eigene Manipulation das Baumwollröhrchen, ohne eine Verbindung zu lösen, eingeführt, der Ballon alsdann an einer schon vorgesehenen Verengung ausgezogen. — Man wird sich nach diesen Andeutungen und der Abbildung leicht ein ungefähr zutreffendes Bild von dem Apparate machen können.

Das Versuchsergebnis war durchaus entscheidend; das Baumwollpföpfchen gab Veranlassung zu mannigfachen Vegetationen und damit in Verbindung zu Gärungserscheinungen, während nicht geöffnete Kölbchen natürlich beliebig lange frei von beiden erhalten werden konnten. Diesem höchst eleganten Experimente könnte nur vielleicht der Einwurf gemacht werden, dass durch Ausspülen, wie es in dem Experimente geschah, wohl die gewöhnliche Luft durch die geglühte bis auf einen gewissen, sehr kleinen Bruchteil verdrängt, nicht aber völlig ersetzt werden konnte — ein Einwurf, den man wohl mit Stillschweigen übergehen darf.

Kurz, die Versuchsergebnisse Pasteur's und seiner Vorgänger lehren, dass *das infizierende Prinzip der Luft aus durch Hitze leicht zerstörbaren festen absehbaren Teilchen besteht, dass diese Teilchen unter dem Mikroskope organi-*

siert erscheinen, und dass durch ihre Aussaat in der That diejenigen Veränderungen veranlasst werden können, welche sonst durch die gewöhnliche Luft veranlasst werden. Alle diese Thatsachen zusammengenommen besitzen eine so hohe Beweiskraft, als nur immer Experimente, von fehlbaren Menschen ausgeführt, besitzen können*).

Auch sonst enthält die Pasteur'sche Arbeit noch eine grössere Anzahl schöner und sinnreicher Versuche, die für die gleiche Schlussfolgerung eine hohe Beweiskraft in sich tragen. So wurde gezeigt, dass man ausgekochte Flüssigkeiten *ohne Gefahr einer Infektion mit der Luft* durch kapillare, nach abwärts sich biegende Röhren**) in Verbindung lassen kann. Auch dieses Resultat stimmt mit der gewonnenen Anschauung, da feste, wenn auch sehr leicht suspendierbare Körperchen nicht wohl mit einem sich äusserst langsam bewegenden Luftstrom durch eine enge Röhre fortgerissen werden, vielmehr unter diesen Umständen Zeit gewinnen, sich abzusetzen, während die kurz nach der Erhitzung durch einen sehr rasch in das Kölbchen eintretenden Luftstrom mitgerissenen Keime noch durch die hohe Temperatur der Flüssigkeit, auf die sie fallen, getötet werden.

Ebenso sind andere schöne Versuche Pasteur's mit der gewonnenen Anschauung in bester Übereinstimmung. Ich rechne dahin den Nachweis der begrenzten Infektionsfähigkeit kleinerer Mengen von Luft, namentlich aus Gegenden der Atmosphäre, in welchen sich nicht viele zerstreute Keime voraussetzen lassen. So wurde erwiesen, dass ein nach dem Auskochen zugeschmolzener Kolben mit einer durch Organismen veränderlichen Flüssigkeit nicht schlechthin durch eine beliebig kleine Menge gewöhnlicher Luft der Gärung überliefert wird, dass es vielmehr hie und da einmal vorkommt, dass ein Öffnen des Verschlusses, dem sogleich ein neues Zuschmelzen folgt, ohne Einfluss auf die Konservierung der Flüssigkeit bleibt. Also nicht in jeder beliebig kleinen Portion Luft sind lebensfähige Keime vorhanden und besonders nicht Keime jeder Art, um eine jede beliebige Flüssigkeit einer der nun gerade für sie charakteristischen Zersetzungen zu überliefern. Das letztere konnte besonders noch dadurch erwiesen werden, dass die Organismenentwicklung und damit die Art der Gärung nicht immer in jedem einzelnen Falle nach einem vorübergehenden Öffnen des Gefässes die gleiche war***).

*) Die Pasteur'schen Schlussfolgerungen in dieser Richtung lauten folgendermaassen:

1. „Es finden sich stets in der Luft organisierte Körperchen, die man nicht unterscheiden kann von den Keimen der wirklichen Infusionsorganismen.“

2. „Wenn man die Körperchen und die amorphen Trümmer, die ihnen beigesellt sind, aussäet auf der Siedhitze unterworfen gewesenen Flüssigkeiten, die in ausgeglühter Luft intakt bleiben würden, wenn man eine solche Aussaat nicht vornähme, sieht man in diesen Flüssigkeiten die nämlichen Organismen erscheinen, die sie an freier Luft entwickeln.“

**) Auch hin- und hergebogene Kapillarröhrchen leisten dasselbe. Nach H. Hoffmann, der unabhängig von Pasteur gleichartige Erfahrungen machte, genügen auch weitere abwärts gebogene Röhren, wenn man sie während der Abkühlungszeit mit einem Baumwollpfropfen versieht.

***) Dass ein jeder spezifische Gärungschemismus in der Regel durch besonders geartete Organismen veranlasst wird, dafür geben gerade die in Rede stehenden Versuche zum ersten-

Besonders interessant in derselben Richtung sind dann noch die Pasteur'schen Versuche, die auf hohen Bergen*) angestellt wurden, wo die Luft voraussichtlich sehr rein von organischen Keimen sein musste. Dort geöffnete und wieder zugeschmolzene Gefässe zeigten dauernd nicht die geringste Veränderung der eingeschlossenen Flüssigkeit, während andere gleichartig gefüllte in Häusern geöffnet, welche von vielen Personen frequentiert wurden, ihren Inhalt alsbald der Verderbnis überlieferten.

Was dann die Beziehung dieser wichtigen Resultate zu unserem eigentlichen Gegenstande betrifft, so ist zunächst hervorzuheben, dass die gemachten Folgerungen auch speziell für die alkoholische Gärung Geltung haben. Auch diese wird, soweit unsere Beobachtungen reichen, niemals erregt in ausgekochten und von der Luft abgesperrten Flüssigkeiten. Ebenso kann die Luft durch alle jene Mittel, unter anderem auch durch Filtrieren durch Papier, von den in diesem Falle maassgebenden Gärungskeimen befreit werden. Allerdings bleibt hierbei zu bemerken, dass unsere atmosphärische Luft unter gewöhnlichen Umständen nicht gerade reich**) an diesen spezifischen Keimen für die geistige Gärung zu sein scheint — ein Umstand, der für die Resultate einer spontanen Infektion wohl zu berücksichtigen bleibt.

Was für uns aber am wichtigsten erscheint, ist die Thatsache, die aus allen einschlagenden Beobachtungen Pasteur's in beiden Arbeiten hervorgeht, dass *immer, wenn in einer Flüssigkeit alkoholische Gärung einmal Platz gegriffen hat, auch entsprechend ausgedehnte Vegetationen von charakteristisch geformten Hefepilzen wahrgenommen werden können*. Da diese Hefepilze nach den angeführten Versuchen nicht durch Urzeugung entstehen können, so ist die Appert'sche Konservierung die beste Methode, diese Abhängigkeit ad oculos zu demonstrieren. Die Schwann'sche oder Schröder'sche Modifikation dieser Konservierung giebt dann den Beweis dafür, dass der Sauerstoff der Luft kein Gärungserreger oder Fermenterzeuger ist.

Endlich haben die Ernährungsversuche Pasteur's noch dazu beigetragen, der von ihm vorgetragenen Lehre, wenn es überhaupt möglich war, eine noch grössere Festigkeit zu geben. Durch verschieden günstige Ernährung war es natürlich möglich, die Hefevegetation in verschiedenem Maasse gedeihlich fortschreiten zu lassen. Wenn nun die Gärungsintensität in demselben Maassstabe sich veränderte, so war eine innige Abhängigkeit beider Erscheinungen natürlich auch so zu demonstrieren. Auch dies ist Pasteur gelungen, wenn er auch freilich für diese Beziehung zunächst sehr schlagende Zahlenbelege nicht geliefert hat. — Damit wäre das Wichtigste, was wir auf dem Gebiete der Gärung den ersten grossen Publikationen dieses berühmten Forschers verdanken, aufgezählt.

mal Beweise in die Hände. Wir werden auf diesen Gegenstand noch an einem anderen Orte zurückkommen und auch erkennen, dass Pasteur in dieser Beziehung zu übertriebenen Anschauungen gelangte.

*) Hierzu wurde ein Gipfel gewählt (Montanvert) 2000 m über dem Meere. Von 20 daselbst geöffneten Kolben blieben 19 frei von Organismen.

**) Nach neueren Untersuchungen sogar in der Regel frei, da die verhältnismässig grossen Saccharomyceten nicht in der Luft schweben bleiben.

Es ist indessen nur Sache der Billigkeit, wenn ich an dieser Stelle neben Pasteur noch einen andern Namen nenne, der beinahe ebenso mit den hier aufgezeichneten Entdeckungen verknüpft ist oder wenigstens verknüpft sein sollte, nämlich den des Holländers van den Broek. Die Beobachtungen dieses Forschers sind nur eine Zeit lang in den Annalen einer niederländischen Provinzialgesellschaft einem grösseren Publikum verborgen geblieben, und deshalb musste nachmals van den Broek sein Prioritätsrecht in ausländischen Zeitschriften zur Geltung bringen*).

Aus diesen Veröffentlichungen geht nun hervor, dass van den Broek unabhängig von Pasteur die meisten von dessen Entdeckungen, gestützt auf sinnreiche Versuchsanstellungen, ebenfalls an den Tag gefördert und mit vieler Klarheit ausgesprochen hat. Die Wissenschaft zieht von einer so merkwürdigen Übereinstimmung den Vorteil der grösseren Sicherheit der neuen Errungenschaften und urteilt, dass die Zeit eben für die Entdeckung reif war. Auch Cagniard de Latour und Schwann waren auf einer Vorstufe derselben Erkenntnisse selbständig zu den gleichen Resultaten gekommen.

Die Sätze, die van den Broek aussprach, gingen vornehmlich dahin, dass sowohl frischer Traubensaft, als auch viele animalischen Flüssigkeiten, unmittelbar dem Tiere entnommen, bei vollkommenem Abschluss von der Atmosphäre sich nicht zersetzen, und dass auch geglühte oder filtrierte Luft Zersetzungen in diesen Flüssigkeiten nicht einzuleiten vermag;

dass, wenn in frischem Traubensaft durch Zufuhr von roher Luft alkoholische Gärung Platz greift, auch wachsende Hefezellen zu beobachten sind;

dass durch ungereinigte Luft Gärung erregt werden kann, sowie auch sie allein Schimmelung vorher sporenfreier Substanzen bewirkt;

dass nicht jedes kleinste Quantum gewöhnlicher Luft Gärungen einzuleiten vermag, sondern dass es manchmal gelingt, ein solches ohne Schaden der sich zersetzenden Substanz zuzuführen.

Für die Fäulnis konnte van den Broek, wie auch andere vor ihm, nicht die Abhängigkeit von der Entwicklung von Organismen konstatieren, obgleich nach seinen Versuchen die ansteckenden Materien für diese Zersetzungen auch durch Erhitzen zerstört und durch Baumwolle aus der Luft abgesiebt werden konnten. Auch konnte dieser Vorgang durch faulende Stoffe auf andere Substrate übertragen werden. Van den Broek war daher geneigt zur Erklärung der Fäulnis die Liebig'sche Gärungshypothese in Anspruch zu nehmen.

Die Versuchsanstellungen, durch welche der holländische Forscher zu diesen interessanten Resultaten gelangte, waren dem Prinzip nach sehr einfach, aber wie es scheint, sämtlich musterhaft durchgeführt.

Sollen wir van den Broek neben Pasteur den Platz einräumen, der ihm gebührt, so müssen wir sagen, dass ersterer sich mit einer sehr viel kleineren Anzahl von Thatsachen beschäftigte und auch nicht so weit in seiner Beweisführung

*) Vgl. Annalen d. Chem. u. Pharm., Bd. 115, p. 75. Auch H. Hoffmann hat mit seinen Versuchen zur vitalen Gärungstheorie und zugleich zur Widerlegung des Glaubens an die Urzeugung in hohem Maasse beigetragen. Vgl. botan. Zeitung, 1860, p. 49.

vorwärts schritt, wie nach ihm Pasteur. Die wirkliche Auffindung der Thatsache, dass das unbestimmte infizierende Agens in der Luft Sporen der Gärungsorganismen sind, welche wir nachher in der sich zersetzenden Flüssigkeit sich ausbreiten sehen, bleibt in jedem Falle Pasteur vorbehalten, während sich van den Broek in dieser Beziehung der Reihe der diese Entdeckung vorbereitenden Forscher anschliesst.

Allein, was dann speziell die alkoholische Gärung angeht, so steht doch van den Broek in der Priorität der Auffindung der Thatsache unbestritten da, dass *frischer* Traubensaft (nicht bloss durch Kochen vielleicht in ihrer Neigung zur Gärung alterierte Flüssigkeiten) bei Absperren von Gärungskeimen trotz Zutritt von Luft nicht in Gärung übergeht, ein Nachweis, der seit der Behauptung von Gay-Lussac notwendig geworden war, und auch den Anhängern der Möglichkeit der Urzeugung gegenüber als ein sehr erwünschter gelten muss.

Wir haben schon angedeutet, dass der Pasteur'schen Beweisführung nicht das Schicksal wurde der früheren Schwann'schen und Cagniard de Latour'schen, und wir sehen ein, warum es nicht anders sein konnte*). Diesmal waren die Thatsachen denn doch zu gewichtig, um sie totscheiden oder durch das Aufdrücken des Stempels der Lächerlichkeit für jeden reputierlichen Forscher unannehmbar machen zu können. Der Autoritätsglaube fing an, wenn auch langsam genug, ins Wanken zu geraten. Jene ironisch gemeinten Worte waren zu Fleisch und Bein geworden und spotteten ihrer Erfinder.

Der Umschlag der Anschauung begann in Frankreich vielleicht plötzlich, bei uns leise, aber sicher. Die Lehrbücher brachten grossenteils noch bis in die neuere Zeit die beiden Anschauungen und stellten sie einander als gleichberechtigt gegenüber mit jener Objektivität, die freilich mehr in der Bequemlichkeit begründet ist, als sie aus Liebe zur Gerechtigkeit hervorzugehen pflegt. — Wenn man die Bedrängnis einer Theorie durch die angreifenden feindlichen Anschauungen nach dem Eifer beurteilen darf, mit welchem man ihr Entsatz zu bringen sucht, so bedurfte die, welche den Namen Liebig's trägt, erst im Jahre 1868 einer kräftigen Verteidigung. Denn in diesem Jahre begann dieser Forscher in wissenschaftlichen Vorträgen in der bayerischen Akademie ein leichtes Geplänkel gegen die von Frankreich importierten Meinungen, um in dem Januarheft der 1870 erschienenen Annalen der Chemie und Pharmacie einen Hauptschlag auszuführen. Zunächst wurden — soweit Nachrichten an die Öffentlichkeit drangen — mehr einzelne der von Pasteur beigebrachten Thatsachen zu erschüttern gesucht, als dass man schlechtweg der ganzen Anschauung widersprochen hätte. Ich erwähne hier einige dieser untergeordneten Einwürfe, weil sie auch noch später in dem Hauptangriff eine Rolle spielen.

Die Neubildung von Hefe in Gärungsgemischen, in welchen nichts enthalten war als Zucker, Ammoniak, Wasser und gewisse Aschenbestandteile, welche letzteren

*) Es darf hier nicht unerwähnt bleiben, dass es Pasteur gelang, Schwann einige Quellen des Irrtums für das öftere Misslingen seiner Versuche nachzuweisen, indem er z. B. zeigte, dass das Quecksilber häufig in dem ihm anhaftenden Staube Keime für eine unerwünschte Infektion von durch dasselbe abgeschlossenen Flüssigkeiten mit sich führt.

von Pasteur (wohl der Kürze halber) als Phosphate bezeichnet worden waren, während er die nur wesentlich aus phosphorsauren Salzen bestehende Hefemasche darunter meinte, wurde als absurd hingestellt, weil die gewöhnliche Hefe Schwefel enthalte, der also nicht zugeführt worden sei*). Dann sei das Verschwinden von Ammoniak während der Gärung, welches von Pasteur für diese selben Verhältnisse angeblich konstatiert worden war, eine analytische Täuschung, die auf der Unmöglichkeit beruhe, das Ammoniak durch Magnesia in seiner Verbindung als phosphorsaure Ammoniak-Magnesia nachzuweisen, und eine solche Verbindung müsse sich in den von Pasteur untersuchten Fällen gebildet haben u. s. f.

Für den Angriff, der im Jahre 1870 erfolgte, ist sodann zunächst festzustellen, dass der Pasteur'schen Anschauung sehr wesentliche Zugeständnisse gemacht werden. Dass die Entwicklung von Hefepilzen im allgemeinen Hand in Hand gehe mit der alkoholischen Gärung, wird von Liebig keineswegs geleugnet**). Allein es wird doch gesucht, diese Thatsache als ein Specificum einer höheren und allgemeineren Anschauung unterzuordnen, welche der alten Gärungstheorie vom Jahre 1839 doch mindestens nahe kam. Ganz deutlich ist übrigens der Standpunkt nicht, der eingehalten wird, und es sind auch hier vorherrschend kleine Offensivstösse, durch welche man diesen zu verbergen und zugleich dem Gegner gefährlich zu werden sucht. Dass die Hefe ein in Fäulnis begriffener Körper sei, der diese Fäulnis in Berührung mit Zucker auf diesen übertrage, scheint aufgegeben; dagegen wird die mechanische Gärungstheorie als solche noch keineswegs verlassen. Dieselbe wird zu retten gesucht mit Hilfe einer neugefundenen interessanten Thatsache, die allerdings in ihrem vollen Maasse gewürdigt werden muss.

Wir haben schon früher erwähnt, dass gewöhnliche Bierhefe, mit Rohrzuckerlösung zusammengebracht, dieselbe zuerst invertiere, bevor die eigentliche Gärung beginnt. Wodurch diese Inversion erfolgt, darüber hatten früher sehr verschiedene Ansichten geherrscht. Von Pasteur wurde sie einmal der Bernsteinsäure zugeschrieben, da viele Säuren die gleiche Einwirkung zeigen. Von Liebig wurde nun darauf hingewiesen, dass die Inversion des Rohrzuckers auch von einem wässerigen Auszug der Hefe, dem es an allen organisierten Elementen fehlt, vollzogen wird***), und dass die Fähigkeit hierzu in der Siedehitze des Wassers verloren geht. Derselbe schloss daraus, dass ein chemischer Fermentkörper (ein Enzym) in der Hefe vorhanden sei, der von derselben getrennt erhalten werden könne, und dass derselbe den Rohrzucker in Trauben- und Fruchtzucker umwandle. Für die Enzymnatur des

*) Wir werden später von dem Bedürfnis der Hefe an Schwefel ausführlicher handeln. Vgl. Vorlesung 9.

**) Überhaupt sind von seiten der Liebig'schen Schule in dieser Richtung schon frühe zeitgemässe Zugeständnisse gemacht worden. Vgl. Schlossberger: *Annal. d. Chemie und Pharm.*, Bd. 51, p. 195.

***) Die Thatsache war freilich schon früher bekannt; vgl. p. 16. Einige sinnigen Bemerkungen Béchamp's könnten auch wohl in dieser Richtung gedeutet werden. Vgl. *Compt. rend. d. l'acad.*, T. 58, p. 602. Auch war sie schon von Berthelot in einem ähnlichen Sinne verwertet worden (*Compt. rend.*, T. 50, p. 980). Auch Hoppe-Seiler hatte den betreffenden Fermentkörper schon bis zu einem gewissen Grade isoliert.

fraglichen Körpers spricht nun allerdings, wie früher erörtert, die Ähnlichkeit der Reaktion mit der von der Diastase auf Stärkemehl ausgeübten — in beiden Fällen Wasseraddition zu Kohlenhydraten — und das Erlöschen der Fähigkeit, die Reaktion auszuüben, in der Nähe der Siedehitze.

Das eben besprochene Verhalten ist, wie wir früher gesehen, seitdem ein fester Bestandteil der Wissenschaft geworden; aber man erkennt aus dem angeführten zugleich die historische Bedeutung dieser Dinge. Man ersieht daraus, welche Vorteile sich für jene Partei ergeben mussten durch die Auffindung eines selbständig wirkenden chemischen Fermentes in der organisierten Hefe. — Konnte nicht auch ein ähnlicher Körper, der lediglich auf Zuckerzerspaltung in Alkohol, Kohlensäure u. s. w. wirkt, von dem Hefepilze abgeschieden werden? Denn dass diese Eigenschaft nicht jenem selben Stoffe zukäme, das musste aus den ersten Versuchen einleuchten. — Es ist zwar klar, dass, wenn auch in dieser Beziehung ein neuer Boden hätte gewonnen werden können, die neue Theorie nur noch eine ganz äusserliche Ähnlichkeit mit der alten Liebig'schen gehabt haben würde; indessen es handelt sich hier darum, diese neue Anschauung, obschon sie nur auf einen sehr vagen Analogieschluss begründet ist, auf ihre Zulässigkeit und Zweckmässigkeit an sich zu prüfen.

Dass Fermentstoffe von einem Organismus ausgeschieden werden, und dann auch ausser Zusammenhang mit diesem ihre Thätigkeit fortsetzen, hat an sich nichts Befremdendes. Die Frage kann nur die sein: Ist je die Zuckerzerlegung im Sinne der alkoholischen Gärung unter dem Einflusse eines chemischen Fermentes beobachtet worden, und werden derartige chemischen Fermente von dem Hefepilze nach aussen abgeschieden? — Dieser Frage ist entgegenzustellen die Thatsache, dass weder von Liebig noch von Pasteur noch von irgend einem andern zuverlässigen Forscher alkoholische Gärung unabhängig von der Entwicklung von Hefepilzen beobachtet worden ist, d. h. doch wohl, dass es ein einfacher Induktionsschluss ist, sie als physiologischen Akt aufzufassen. Ob dieser physiologische Akt, der ja, wie Liebig mit Recht ausführt, nichts weniger als eine endgültige Erklärung der Erscheinung darstellt, schliesslich nur begriffen werden kann, wenn wir chemische Fermente innerhalb des Hefeorganismus annehmen, dies ist eine Frage, die erst aufgeworfen werden sollte nach dem Zugeständnis, dass dieser Organismus zur Zuckerzerspaltung erfahrungsgemäss unentbehrlich sei. Dieses Zugeständnis war es zunächst, das man den von Pasteur beigebrachten Thatsachen mit Offenheit hätte machen sollen.

Was die Analogie der Wirkung jenes Intervertierungsfermentes mit einem hypothetischen in der Hefezelle eingeschlossenen, auf Zuckerzerspaltung wirkenden Fermente betrifft, so werden wir gleich *) auf diesen Gegenstand kurz zurückkommen, da derselbe von einem späteren Experimentator noch einmal erörtert worden ist. Zunächst handelt es sich um die Erledigung einiger weiteren Liebig'schen Einwände.

Dass die Möglichkeit der Stickstoffernährung des Hefepilzes auf Kosten von Ammoniaksalzen auf Grund einiger fehlgeschlagenen Experimente bezweifelt wurde, kann hier unberührt bleiben, da diese wichtige Frage einstweilen von untergeordneter Bedeutung ist. Es sei nur bemerkt, dass anderweitige genügende Bestätigungen des

*) Siehe die folgende Seite.

Pasteur'schen Versuchsergebnisses vorliegen, und dass auch Liebig nicht im Principe widersteht, da er Milchsäuregärung und Schimmelbildung unter den fraglichen Umständen konstatierte.

Der vorhin erwähnte Einwand bezüglich des Ammoniakdefizits, das nur in einem analytischen Versehen seinen Grund haben soll, berührt uns ebenfalls an dieser Stelle weniger nah, ist übrigens später von zwei Seiten zu Gunsten Pasteur's entschieden worden. — Dass Pasteur seine Hefepilze ohne Schwefel erzogen hätte, woraus erhellen soll, dass er überhaupt keine Hefe unter den bezeichneten Umständen erzogen hat, war endlich eine übel angebrachte Verdächtigung, denn diese Behauptung findet sich gar nicht ausdrücklich bei Pasteur, und wenn er etwas dergleichen wirklich erwiesen zu haben glaubte, so wäre doch nur die experimentelle Widerlegung der richtige Trumpf darauf gewesen. — Noch andere Einwendungen beziehen sich auf völlig untergeordnete Gegenstände.

Im ganzen kann man wohl sagen, hat die Liebig'sche Abhandlung vom Jahr 1870 nicht wesentlich Terrain zurückerobert. Derselben kommt übrigens das Verdienst zu, auf einige Schwächen der Pasteur'schen Anschauung hingewiesen zu haben, in dem Sinne namentlich, dass von nun an mehr die Notwendigkeit der Vertiefung derselben empfunden wurde; und ausserdem wurde durch jene Arbeit die Wissenschaft um einige interessante Thatsachen bereichert. — Noch im selben Jahre mit der Liebig'schen erschien eine Arbeit von Schaer, die sich zwar nur nebensächlich mit der alkoholischen Gärung beschäftigte, aber doch einige wichtige Aufschlüsse über deren Ursächlichkeit verhiess und deshalb nicht ganz mit Stillschweigen übergangen werden darf. In einem gewissen Sinne näherte sich Schaer der Liebig'schen Anschauung in ihrem neuesten Gewande, indem er auf gewisse fermentartige Eigenschaften der Hefe, beispielsweise deren Fähigkeit, Sauerstoff aus Wasserstoffsuperoxyd zu entwickeln*), hinwies, so dass man glauben konnte, auch die Zuckerzersetzung sei mehr eine Thätigkeit nach aussen hin, die nicht in einer so innigen Beziehung zum eigentlichen Vegetationsprozess des Hefepilzes stände.

Kurz, aus den in dieser Richtung ausgeführten Untersuchungen schien eine Gefahr für die Pasteur'sche Theorie zu erwachsen, so reserviert Schaer's Meinung auch sein mochte, und so unternahm es der Autor dieser Vorlesungen kurz nachher, den Sachverhalt experimentell zu erörtern. Es zeigte sich bei diesen Untersuchungen**), dass derartige fermentartige Wirkungen der Hefe nach aussen hin allerdings bestehen; namentlich vermag eine jede gesunde Hefe Sauerstoff aus dem Wasserstoffsuperoxyd „katalytisch“ zu entwickeln. Es ergab sich allerdings auch, dass diese Fähigkeit erlischt zusammen mit der Fähigkeit derselben, alkoholische Gärung zu erregen, wenn man den Pilz durch Erhitzen oder durch Vergiftung mit Blausäure tötete. Keineswegs war es indessen möglich, durch irgend eine dieser Versuchsanstellungen alkoholische Gärung und Hefepilzvegetation auseinanderzu-

*) Wie es scheint, von Schlossberger zuerst beobachtet (Ann. d. Chem. u. Pharm.) Bd. 51, p. 211.

**) Mitteilungen aus d. landw. Laboratorium der Universität Heidelberg: Landw. Versuchszt., B. 16, p. 277.

reissen*), so dass sich jene katalytische Fähigkeit eben darstellt als eine Eigenschaft, die eben nur dem lebenden Hefepilze zukommt, und sich also mit nichts aus dem von Schaer konstatierten Sachverhalt Kapital für die Theorie einer rein chemischen Fermentwirkung schlagen lässt.

Auch sonst wurde durch meine eigenen Versuche, namentlich die aus dem Jahre 71/72, vielfach dargethan, wie innig Hefevegetation und alkoholische Gärung zusammengehören, während andererseits der von dem Hefepilze ausgeschiedene Körper, auf den Liebig hinwies, und welcher auf die Invertierung des Rohrzuckers wirkt (das Invertin), nicht bloss, wie bekannt, von der Hefe leicht und dauernd getrennt erhalten werden kann, sondern auch ganz selbständigen Zerstörungsbedingungen unterliegt.

Kurz wir dürfen, diese Betrachtungen abschliessend, wohl aussprechen, dass die vitale Gärungstheorie, die ja eigentlich ein blosser Induktionsschluss ist und so wenig wie möglich Hypothetisches in sich birgt, von jedem unbefangenen Beurteiler unbedingt acceptiert werden muss, da sie allein mit allem thatsächlich Ermittelten in Übereinstimmung sich befindet. Diese Theorie sagt aus, *dass überall, wo Hefepilze vegetierend beobachtet werden, auch Zucker nach der Gleichung der alkoholischen Gärung sich zerspaltet, und dass überall, wo die letztere statthat, auch lebende Hefezellen aufgefunden werden können, dass also beide Erscheinungen in der innigsten Abhängigkeit voneinander sich befinden, d. h. mit andern Worten, dass die alkoholische Gärung ein physiologischer Akt des betreffenden Organismus ist.* Es ist wohl kaum ein kühner Schritt über diesen einfachen Induktionsschluss hinaus, wenn man sich so ausdrückt, *dass der Zucker* — und zwar nicht bloss in der Menge, als sich die Substanz des Hefepilzes aus ihm bildet, denn dies ist durchaus selbstverständlich, sondern in der ganzen zerfallenden Menge — *als Nahrungsmittel von dem Hefepilze aufgenommen, Alkohol, Kohlensäure und die weiteren Gärungsprodukte als wahre Exkrete von dem Pilze ausgeschieden werden.* Gegen diese Auffassung ist bisher nichts geltend gemacht worden als die Erfahrung von Dumas**), die sich durch viele ähnliche oder entgegengesetzte vermehren liesse und im Grunde wenig bedeutet, dass die Raschheit der Vergärung mit der Ver-

*) Wenn gesagt wird, dass alle Versuche, die sorgfältig ausgeführt werden, eine Zusammengehörigkeit von alkoholischer Gärung und Hefevegetation ergeben, so darf dies indessen nicht so verstanden werden, als kämen nicht gelegentlich entgegengesetzte Aussprüche in der Litteratur selbst von sonst zuverlässigen Experimentatoren vor. Es soll nur damit gesagt werden, dass eine so grosse Reihe von Versuchsergebnissen in dem einen Punkt miteinander übereinstimmen, dass gegenteilige Angaben im höchsten Grade unwahrscheinlich erscheinen. Vgl. gegenteilige Angaben bei C. Schmidt (Annalen d. Chem. u. Pharm., Bd. 61, p. 170), Döpping u. Struve (Journ. f. pr. Chemie, Bd. 41, p. 274), Brendecke etc. Allerdings werden wir später sehen, dass, um den fraglichen Satz festzuhalten, der Ausdruck Hefevegetation etwas erweitert werden muss. Auch ist nicht gesagt, dass aus Zucker nicht auch auf rein chemischem Wege Kohlensäure und wenigstens dem Alkohol nahestehende Körper erhalten werden könnten (Ber. d. deutsch. chem. Gesellsch., 1874, p. 118). Aber dies ist bis jetzt niemals geschehen nach den Verhältnissen der alkoholischen Gärung.

**) Annal. d. chim. et phys. (5), 1874, III, p. 81.

mehrung der Hefezellen schliesslich nicht mehr wächst, und die Anschauungen von Nägeli, die erst später zur Besprechung kommen sollen.

Das ist freilich richtig, dass diese Erklärung keine sehr tiefgehende ist, dass das Leben niederer Organismen nicht in dem Sinne als eine Ursache der Gärung gelten darf, wie eine Kraft als Ursache einer Bewegung aufgefasst wird*), und dass die von Liebig vorgeschlagene unseren Erkenntnistrieb dauernder befriedigt haben würde, hätten wir nur deren Annahme mit unserem empirischen Gewissen vereinigen können. Wir wollen daher uns nicht versagen, neben der hohen Anerkennung, die wir auf diesem Gebiete der Pasteur'schen experimentellen Forschung und seiner scharfen Logik darzubringen uns gezwungen sehen, auch unserem grossen Landsmanne Liebig einige Dankbarkeit zu bezeugen für das Bestreben, unsere Anschauungen wissenschaftlich zu vertiefen.

Aus der späteren Zeit bleibt für die dargelegten Anschauungen zu erwähnen, dass auch noch Dumas**) mit einigen hübschen experimentellen Belegen auf die Seite Pasteur's getreten ist. Dieselben sind zwar, wenn man will, nur Wiederholungen von schon in ähnlicher Weise vorhandenen; aber schon der Name des Versuchsanstellers macht ein Verschweigen seiner Beteiligung an der Entscheidung der abgehandelten Fragen unmöglich.

Dumas, der schon früher in tiefsinniger Weise sich über die Ursache der alkoholischen Gärung geäussert hatte***), griff die Liebig'sche Gärungshypothese von der Übertragung einer chemischen Bewegung als Gegenstand einer experimentellen Erörterung auf und zeigte einmal, dass die alkoholische Gärung in gewissen Fällen verhindert ward, sich in einer Flüssigkeit durch eine kapillare Verbindungsröhre fortzupflanzen — ein Versuch, der freilich nicht immer gelingen wird, aber beim Gelingen allerdings ziemlich beweiskräftig erscheint —, dass sie ferner sich durch ein Kollodiumhäutchen nicht fortpflanzte, obschon ein solches Diffusion zulässt, dass endlich selbst beim Übereinanderschichten von schwereren und leichteren Flüssigkeiten, wodurch die Hefe verhindert wird, über einen gewissen Raum zu gehen, die Übertragung der Gärung auf die hefenfreie Schicht nicht erfolgt†). — Man kann diese Versuche als Wiederholungen und Erweiterungen der mit dem gleichen Resultate ausgeführten von Helmholtz ansehen.

Dann zeigte Dumas, was aber nichts Neues ist, noch Entscheidendes gegen Liebig beweist, dass eine fermentartige Umsetzung, wie die Zerspaltung von Wasserstoffsuperoxyd, sich nicht auf den in derselben Flüssigkeit gelösten Zucker überträgt.

*) Vergl. H. Scholl: Über Milchsäuregärung, Fortschritte d. Medizin, 1890, 15. Jan.

**) In einem Vortrag, den er am 5. Aug. 1872 in der französischen Akademie hielt.

***) *Traité de Chimie appliquée aux arts*, t. 6, fermentation, 1843.

†) Ein Versuch, der in ganz ähnlicher Weise auch schon H. Hoffmann geglückt war. Es handelt sich dabei nur darum, die Hefe zu verhindern, sich mit der ganzen Gärungsflüssigkeit zu vermischen, was in sehr verschiedener Weise bewerkstelligt werden kann, und was nach Hoffmann auch durch eine kleine Aussaat von Hefe auf Zuckerlösung in einem liegenden Reagensglas möglich ist, wo die Zellen durch die Gasblasen nur in die Höhe, nicht aber auf die Seite getrieben werden.

Wir können etwa folgendes als Ergebnisse der Betrachtungen unserer letzten beiden Vorlesungen ansehen:

- 1) Der als alkoholische Gärung bezeichnete Zerfall von Zucker in Alkohol, Kohlensäure und einige anderen Körper ist niemals mit Sicherheit beobachtet worden, ohne eine entsprechend ausgedehnte Vegetation von Hefepilzen in dem Flüssigkeitsgemisch wahrzunehmen.
- 2) Durch Aussaat von sehr geringen Mengen solcher Hefepilze gelingt es regelmässig, in geeignet zusammengesetzten zuckerhaltigen Flüssigkeiten die alkoholische Gärung derselben zu veranlassen.
- 3) Es ist bis jetzt nicht möglich gewesen, den fraglichen Vorgang durch einen chemischen Bestandteil des Hefepilzes, noch durch Zumischung irgend einer anderen chemischen Verbindung hervorzurufen.
- 4) Alle Umstände, welche die Entwicklung der Hefepilze unterdrücken, dieselben töten oder eine Flüssigkeit von denselben ausschliessen, unterbrechen auch die alkoholische Gärung, resp. lassen sie gar nicht zu stande kommen.
- 5) Zu sagen, dass die alkoholische Gärung veranlasst sei durch die Entwicklung bestimmter Pilzformen, ist also nichts als ein empirisch aufgefundenes allgemeingültiges Gesetz.
- 6) Die Hypothese, dass die alkoholische Gärung schlechthin identisch sei mit den Resultaten des Stoffwechsels der Hefepilze, wenigstens dieses Stoffwechsels unter gewissen Umständen, hat ihrer Einfachheit wegen eine grosse Wahrscheinlichkeit für sich.
- 7) Die tieferliegenden chemischen Ursachen für die Zersetzung des Zuckers in die bekannten Produkte innerhalb des Hefeorganismus sind unbekannt und harren einer Erklärung gemeinschaftlich mit den Geheimnissen der physiologischen Vorgänge überhaupt.
- 8) Die mechanische Gärungstheorie hat auch in ihrer neueren Gestaltung für die Vorgänge innerhalb der Hefezellen keine absehbare Berechtigung.
- 9) Die Schlussfolgerungen, welche hier gezogen sind in Bezug auf die alkoholische Gärung, gelten variatis variandis auch für alle anderen Gärungserscheinungen mit Einschluss der Fäulnis.

Fünfte Vorlesung.

Die Frage nach der Möglichkeit einer Urzeugung.

Wir haben in unsern zuletzt angestellten Betrachtungen unter anderem gesehen, wie nahe sich die Fragen nach der Ursächlichkeit der alkoholischen Gärung und nach der Möglichkeit einer elternlosen, einer sog. Urzeugung, berühren. Wenn speziell für die Organismenformen, welche die alkoholische Gärung veranlassen, eine Neuentstehung aus Nichtorganisiertem möglich wäre, so würden eben unter Versuchs-

bedingungen, mit welchen wir geglaubt hätten, diese kleinen Organismen auszu-schliessen, solche neuerdings haben Entstehung nehmen können. Von einer unter diesen Umständen auftretenden Gärung wäre es dann natürlich fraglich gewesen, ob sie der Anwesenheit der vorgefundenen Pilze ihr Bestehen zu verdanken hätte. Es soll damit andererseits nicht gesagt werden, dass die betreffende Versuchsanstellung ganz zur Unmöglichkeit geworden wäre. Es hätten sich vielleicht Auskunftsmittel finden lassen. Allein der vorausgesetzte Fall wäre kritischer Natur gewesen. Die vitale Gärungstheorie ist, wie wir gesehen haben, ein so unmittelbar empirischer Induktionsschluss, wie der, dass alle Vögel gefiedert sind, und umgekehrt alles, was Federn hat, auch nach seinen sonstigen Merkzeichen den Namen Vogel verdient. Der vorausgesetzte Fall würde wenigstens die Anzahl der entscheidenden Beobachtungen — und auf der Grösse dieser Zahl beruht bekanntlich die Stärke eines Induktionsschlusses — sehr wesentlich beschränken.

Jedenfalls halten wir es für zweckmässig, uns heute über den gegenwärtigen Stand der Frage nach der Möglichkeit einer Urzeugung einigermaassen zu orientieren, so wenig es unser Beruf sein kann, diesen wichtigen Gegenstand nach jeder Richtung hin zu erschöpfen.

Zunächst ist zu konstatieren, was von vielen kurzsichtigen Empirikern ausser Augen gelassen wird, dass auch nach den vielen bis jetzt vorliegenden Erfahrungen eine kategorische Negation der aufgeworfenen Frage gänzlich unwissenschaftlich wäre. Einmal können wir ja mit allen unsern Untersuchungen entfernt nicht sämtliche Fälle prüfen, in denen eine Urzeugung denkbar erscheint, sondern nur diesem hypothetischen Vorgang Schritt vor Schritt Terrain abgewinnen, aber nie so weit, dass demselben nicht beinahe noch ein unbegrenztes Territorium übrig bliebe.

Zweitens können wir mit Gewissheit schliessen, dass unter uns unbekannten Umständen eine elternlose Entstehung von Organismen thatsächlich einmal stattgefunden hat. Wie sehr sich auch dem in diesen Fragen ungetübten Urtheile die Vorstellung einer derartigen Erzeugung als Notwendigkeit aufgedrängt hat, dies lehren am besten die mythischen Anschauungen von einem Schöpfungsakte durch übernatürliche Gewalten, welche wir bei allen denkenden, aber zugleich naturwissenschaftlich unwissenden, Völkern antreffen. Es ist eben schlechterdings unverständlich, wie die organisierten Formen, welche wir auf unserer Erde antreffen, entstanden sein sollen, wenn wir die Möglichkeit einer elternlosen Zeugung ausschliessen. Auch die kühne Darwin'sche Hypothese, welche die eine Organismenform aus der andern entstehen lässt, setzt uns bekanntlich keineswegs über diese Schwierigkeit hinweg, bringt uns dieselbe vielmehr erst recht zur Anschauung, weil sie im übrigen Klarheit verbreitend, hier deutlicher die Dunkelheit empfinden lässt. Ja selbst die überraschende Bemerkung des englischen Physikers Thomson, als ob Organismenkeime durch Meteore von Weltkörper zu Weltkörper getragen werden könnten, auf einem bis dahin sterilen Boden neues Leben verbreitend, lässt, wenn man ihr auch einen prinzipiellen Einwand nicht zu machen im stande ist, doch die ganze Frage nur um einige Milliarden von Jahren hinausgerückt erscheinen; denn eine ewig bestehende Organisation in einer ewig bestehenden Welt anzunehmen, würde doch wohl nur mit einer Vernachlässigung gerade der neuesten physikalischen Weltbildungstheorien möglich sein, schon weil diese der

Ewigkeit der durch unsere Sinne wahrnehmbaren Welt — und diese kann allein naturwissenschaftlich in Betracht kommen — deutlich widersprechen.

Endlich, wenn man mit Hilfe der sehr geistreichen Hypothese englischer Physiker diese Unendlichkeit zu retten sucht, indem man das Zustreben nach dem Maximum der Entropie nicht als ewig feststehendes Gesetz, sondern nur als Durchgangsphase ansieht, welcher gegenüber auch eine sehr viel unwahrscheinlichere, aber entsprechend wirksamere Phase der plötzlichen Verminderung der gesamten Entropie des Weltalls gesetzt werden darf — so hat man allerdings eine Ewigkeit der Organisation — aber auf Kosten von deren Erklärbarkeit. Diese metaphysische Anschauung ist keine monistische mehr, sie ist ausserdem eine dogmatische und verdammt darum die physiologischen Wissenschaften zur hoffnungslosen Unfruchtbarkeit und steht auf einer Stufe mit der Wiedereinführung der mystischen Lebenskraft in die Biologie oder mit dem Glauben an die Ewigkeit der Fermente van Helmont's.

Kurz, jedermann, mit Ausnahme der philosophischen und theologischen Parteien, welche die Urzeugung tendenziös*) leugnen und darum hier nicht mitzusprechen haben, ist nach kurzem Nachdenken dazu bereit, das einstige Stattfinden von Urzeugung zuzugestehen. Warum sollte sie also nicht mehr möglich sein, selbst wenn in der Natur die äusseren Bedingungen dazu abhanden gekommen sein sollten? Können denn diese so ganz absonderlicher Natur sein, dass sie nicht künstlich nachzuahmen wären?

Ich stelle diese Betrachtungen hier an, um zu zeigen, dass man auf deduktivem Wege eher zur Annahme einer noch heute möglichen generatio spontanea kommen würde, und dass es vielmehr unter den überhaupt maassgebenden Parteien der vorherrschend empirische und unphilosophische Geist unseres Jahrhunderts ist, welcher auf die gerade vorhandenen Beobachtungen sich stützend, den Gedanken an jene Möglichkeit zurückweist.

Nach dieser Einleitung wollen wir mitteilen, welchen Standpunkt die Erfahrungswissenschaft gegenüber der Urzeugung in früheren Zeiten eingenommen hat und welchen sie jetzt einnimmt. Wir werden dann sehen, wie die heute herrschende Lehre sich erst langsam herausgebildet hat.

Es ist allgemein bekannt, dass die Masse des niedrigen Volkes die Urzeugung selbst hoch organisierter Formen durch die tägliche Beobachtung beweisen zu können glaubt. Entstehung von Flöhen in nassem unreinem Heu**) oder Sägespänen ist ein Glaube, der sich in diesen Kreisen nicht selten findet und der in rohesten Erfahrungen oder Versuchsanstellungen seine Belege erhält. Gebildete meinen wenigstens, dass Eingeweidewürmer oder doch jedenfalls die Maden im Käse spontan an den Orten ihres besten Gedeihens Entstehung nähmen. — Genau dieselben Stufen der Erkenntnis finden wir in den unserem, den naturwissenschaftlichen Studien so günstigem, Jahrhunderte vorausgehenden Zeiten.

*) In der Meinung, hiermit zugleich den Materialismus zu bekämpfen. Vgl. hierüber die scharfsinnigen Bemerkungen F. A. Lange's: Geschichte des Materialismus, 1886, p. 393.

**) Vgl. Shakespeare: König Heinrich IV., wo die Kumpene Falstaffs sich in diesem Sinne auslassen.

Pasteur giebt in seiner viel erwähnten Arbeit*) einen guten Überblick über diese früheren Anschauungen. Derselbe wird in folgendem grossenteils in Übersetzung wiedergegeben werden, da er auch für unseren Zweck ein hervorragendes Interesse besitzt.

„Im Altertume und bis zum Ende des Mittelalters glaubte alle Welt an das Bestehen von spontanen Zeugungen. Aristoteles sagt, dass jeder trockne Körper, der feucht wird, und jeder feuchte Körper, welcher austrocknet, Tieren Entstehung gäbe.

„Van Helmont beschrieb ein Mittel, Mäuse künstlich hervorzubringen.

„Viele Schriftsteller gaben noch im 17. Jahrhundert an, wie man Frösche aus Sumpfschlamm oder Schlangen aus dem Wasser unserer Flüsse erzeugen könne.

„Solche Irrtümer konnten freilich nicht lange dem kritischen Geiste, der sich Europas im 16. und 17. Jahrhunderte bemächtigte, Widerstand leisten.

„Redi, ein berühmtes Mitglied der Akademie del Cimento, wies nach, dass die Würmer im faulen Fleische Larven seien aus Fliegeneiern. Seine Beweise waren ebenso einfach und entscheidend, denn er zeigte, dass es genüge, das faule Fleisch mit einem feinen Flore zu umgeben, um das Entstehen dieser Larven durchaus zu verhüten.

„Ebenso war Redi der erste, welcher bei den Eingeweidetieren Männchen, Weibchen und Eier unterschied.

„Nun überraschte man, so drückte sich später Réaumur aus, die Insekten, welche ihre Eier in die Früchte legen, bei dieser Thätigkeit, und man wusste fortan, dass, wenn man einen Wurm in einem Apfel antraf, es nicht die Verderbnis dieses war, die jenen hervorgebracht hatte, dass im Gegenteil der Wurm die Ursache der Verderbnis der Frucht war.

„Aber bald, in dem zweiten Teile des 17. Jahrhunderts und in der ersten Hälfte des 18., nahmen, miteinander wetteifernd, die mikroskopischen Beobachtungen überhand. Die Lehre der Urzeugung erschien dann wiederum. Die einen, welche sich den Ursprung der so verschiedenen Wesen, welche das Mikroskop**) in den vegetabilischen und animalischen Aufgüssen sehen liess, und bei denen sie nichts von einer geschlechtlichen Zeugung bemerkten, nicht erklären konnten, gelangten zu der Annahme, dass die einst lebende Materie nach dem Tode eine eigentümliche Lebenskraft bewahre, unter deren Einfluss ihre losgelösten Teilchen bei Erfüllung gewisser günstigen Bedingungen sich von neuem vereinigten mit Struktur- und Organisationsverschiedenheiten, welche eben durch diese Bedingungen bestimmt würden.

„Andere dagegen, welche den wunderbaren Resultaten, die das Mikroskop ihnen erschlossen hatte, etwas aus ihrer Einbildungskraft hinzufügten, glaubten bei diesen Infusorien Begattungen, Männchen, Weibchen und Eier zu beobachten und wurden ausgesprochene Gegner der Urzeugung.

„Man muss zugeben, dass die Belege für jede der beiden Meinungen keineswegs eine nähere Beleuchtung ertragen.

*) Ann. d. Chim. et Phys. (3), T. 64, p. 51.

**) Unter Mikroskop sind hier auch unzusammengesetzte Vergrösserungsgläser zu verstehen.

„Dies war der Stand der Streitfrage, als in London im Jahre 1745 ein Werk von Needham erschien. Derselbe war ein geschickter Beobachter und ausserdem gläubiger katholischer Priester — ein Umstand, welcher bei einem solchen Gegenstand eine gewisse Bürgschaft bietet für die Aufrichtigkeit seiner Überzeugungen.

„Die Lehre von der Urzeugung ward in diesem Werke gestützt auf Thatsachen ganz neuer Art. Ich habe hierbei die Experimente mit hermetisch geschlossenen Gefässen im Auge, welche zuvor einer gesteigerten Temperatur ausgesetzt worden waren. Needham war es in der That, welcher zuerst auf den Gedanken von solchen Versuchen kam.

„Noch waren keine zwei Jahre seit der Veröffentlichung der Versuche von Needham verstrichen, als ihn die königliche Gesellschaft in London unter die Zahl ihrer Mitglieder aufnahm. Später wurde er einer der acht Beisitzenden*) der Akademie der Wissenschaften.

„Allein das Werk Needham's hatte eine günstige Aufnahme hauptsächlich der Unterstützung zu verdanken, welche dasselbe durch Buffon's Theorie der Organismenerzeugung erhielt.

„Die drei ersten Bände Buffon's (von der Quartausgabe, bei seinen Lebzeiten veröffentlicht) erschienen im Jahre 1749. In dem zweiten Bande dieser Ausgabe, vier Jahre nach dem Erscheinen des Needham'schen Buches, setzt Buffon seine Lehre von den organischen Molekülen auseinander und verteidigt die Hypothese der Urzeugung. Man kann annehmen, dass die Resultate Needham's von grossem Einflusse waren auf die Ansichten Buffon's, denn gerade um die Zeit, in welcher dieser ausgezeichnete Naturforscher die ersten Bände seines Werkes verfasste, machte Needham eine Reise nach Paris und wurde daselbst der Tischgenosse Buffon's und sozusagen dessen Mitarbeiter.

„Die Anschauungen von Needham und von Buffon hatten ihre Anhänger und ihre Widersacher. Dieselben standen im Widerspruch mit einer andern namhaften Theorie von Bonnet, welche die Präexistenz von Keimen behauptete. Der Kampf war um so lebhafter, da er beiden Parteien gleichberechtigt erschien. Heute wissen wir freilich, dass die Wahrheit weder auf der einen noch auf der andern Seite sich befand. Es war eben noch die Zeit, in der man über Systeme, über spekulative Anschauungen bis zur Atemlosigkeit diskutieren konnte.

„In Buffon waren gewissermaassen zwei Arten von Menschen verschiedener Geistesrichtung vereinigt. Der eine konnte heute ohne Umschweife bekennen, dass er eine Hypothese suche, um eine Theorie aufzustellen. Der andere schrieb morgen das schöne Vorwort zu der Übersetzung von Hales' chemischer Statik der Gewächse, in welchem er die Notwendigkeit der experimentellen Erfahrungen so hoch stellt, wie sie es verdient. Diese zwei Seiten des Buffon'schen Genius finden sich in verschiedenem Grade bei allen Gelehrten seines Zeitalters wieder.

„Allein man zögerte auch nicht, die Needham'schen Schlüsse einer experimentellen Prüfung zu unterwerfen. Es lebte damals in Italien der äusserst geistreiche und ebenso kritische Abbé Spallanzani, einer der geschicktesten Physiologen, welchen die Wissenschaft aufzuweisen hat.

*) Associés heisst es im französischen Text.

„Needham hatte, wie ich eben gezeigt habe, seine Lehre der Urzeugung direkt auf sehr sinnreiche Versuche gestützt. Nur die Erfahrung konnte seine Anschauungen verwerfen oder bestätigen. Spallanzani begriff dies sehr wohl. „In mehreren italienischen Städten, sagte er, haben sich Parteien gegen die Meinung des Herrn von Needham gebildet; ich glaube jedoch nicht, dass jemand daran gedacht hat, dieselbe experimentell zu prüfen.““

„Im Jahre 1765 veröffentlichte Spallanzani zu Modena eine Abhandlung, in welcher er die Theorien Buffon's und Needham's verwarf. Dieses Werk wurde ins Französische übersetzt, vermutlich auf die Anregung Needham's hin; wenigstens ist die Angabe vom Jahre 1769 mit Noten von diesem versehen, in welchen er auf alle Einwürfe Spallanzani's eingeht.

„Der letztere, ohne Zweifel betroffen von der Gerechtigkeit der Needham'schen Kritik, machte sich von neuem ans Werk und liess bald darauf die schöne Sammlung seiner Arbeiten erscheinen, deren Einzelheiten er uns in seinem *Opuscles physiques**) mitgeteilt hat.

„Es würde zu weit führen, eine vollständige Geschichte von dem Streite der beiden gelehrten Naturforscher zu geben. Allein es ist notwendig, die experimentellen Schwierigkeiten, welche zu überwinden sie sich ganz besonders anstrebten, ins rechte Licht zu setzen, und nachzuforschen, ob durch den langen Streit alle Zweifel beseitigt wurden; denn dies ist die allgemeine Ansicht, und man hält Spallanzani für den siegreichen Gegner Needham's. — Wenn dies Urteil begründet wäre, müsste man nicht erstaunen, dass es selbst noch in unseren Tagen so zahlreiche Anhänger der Lehre von der Urzeugung giebt? Sollte der Irrtum in der Wissenschaft und selbst in diesen Fragen nicht leichter zu ersticken sein, wenn derselbe einmal durch das Experiment aufgedeckt worden ist? Ist nicht zu fürchten, wenn man den festen Glauben an sie immer von neuem erstehen sieht, dass ihre Niederlage nur eine scheinbare gewesen ist? — Eine unparteiliche Prüfung der widersprechenden Beobachtungen Spallanzani's und Needham's über den schwierigsten Punkt der Frage wird uns in der That zeigen, dass, entgegengesetzt der gewöhnlichen Meinung, Needham gegenüber den Arbeiten Spallanzani's nicht wohl seine Lehre verlassen konnte.

„Ich habe gesagt, dass Needham der Urheber der Experimente gewesen ist, welche sich auf die Beobachtung in geschlossenen und zuvor erhitzten Gefässen beziehen.

„Herr von Needham, sagt Spallanzani, versichert uns, dass die so angestellten Versuche ihm immer glücklich gelungen sind, d. h., dass die Aufgüsse Infusorien gezeigt hätten, und dies ist der Grundstein seiner Theorie.

„Wenn man, fügt Spallanzani hinzu, nachdem sowohl die Substanzen als die Luft in den Gefässen durch die Wirkung des Feuers geläutert worden sind, noch Sorge trägt, ihnen alle Kommunikation mit der umgebenden Luft abzuschneiden, und auch dann noch bei der Eröffnung der Flaschen lebende Tierchen antrifft, so wird

*) Spallanzani: *Opusculus de Physique animale et végétale*, traduits de l'Italien, par Jean Sennebier, 1777.

dies ein kräftiger Beweis gegen die Theorie der Entstehung aus Eiern sein; *ich glaube nicht, dass seine (Needham's) Anhänger etwas Dementsprechendes zu leisten im stande sein werden.*“

„Ich (P.) unterstreiche diese letzten Worte, um zu zeigen, dass Spallanzani in das so beizubringende Versuchsergebnis die Entscheidung über Wahrheit oder Irrtum legte. Aus den folgenden Citaten, welche aus den Bemerkungen Needham's genommen wurden, werden wir sodann ersehen, dass auch dieser derselben Meinung war. Folgendes ist ein Satz aus den Bemerkungen Needham's über das 10. Kapitel der ersten Abhandlung von Spallanzani.

„Es erübrigt nur, sagt Needham, über den letzten Versuch Spallanzani's zu reden, den er selbst als den einzigen seiner ganzen Abhandlung ansieht, welcher einige Beweiskraft gegen meine Anschauung zu haben scheint.

„Derselbe hat neunzehn Gefässe, mit verschiedenen pflanzlichen Stoffen gefüllt, hermetisch verschlossen, er hat sie so auf die Siedhitze gebracht und während einer Stunde auf derselben erhalten. Allein es ist augenscheinlich, dass er durch die Art und Weise, wie er seine neunzehn Aufgüsse behandelte und maltrairte, dieselben nicht bloss in ihrer *Vegetationskraft* stark abgeschwächt oder vielleicht gar dieser völlig beraubt hat*), sondern dass er auch durch die Ausströmungen und die Hitze des Feuers die kleine Menge miteingeschlossener Luft vollständig verderbt hat. Es ist keineswegs erstaunlich, dass die so behandelten Aufgüsse kein Lebenszeichen von sich gegeben haben. Es konnte nicht anders sein.

„Hier also mein letzter Vorschlag und zugleich das Resultat meiner ganzen Arbeit in wenig Worten: Er möge sich bei der Wiederholung seiner Versuche einer Substanz bedienen, welche genügend gekocht ist, um alle die vorgeblichen Keime zu töten, welche man der Substanz selbst oder den Gefässwandungen anhangend oder auch in der Luft des Gefässes suspendiert glaubt; er möge seine Gefässe hermetisch verschliessen, aber eine gewisse Menge Luft in denselben belassen; er möge sie alsdann einige Minuten lang in kochendes Wasser tauchen, nur so lange, um etwa ein Hühnerei hart zu kochen und um die Keime zu vernichten; er möge mit einem Worte alle nur denkbaren Vorsichtsmaassregeln ergreifen, vorausgesetzt, dass er nur sucht, die vorgeblichen fremden, von aussen kommenden Keime zu zerstören, und ich garantiere, dass er stets eine genügende Anzahl jener mikroskopischen Lebewesen finden wird, um meine Anschauungen zu prüfen. Wenn er bei der Eröffnung der Gefässe, nachdem sie lange genug für die Erzeugung jener Körperchen gestanden hatten, nichts Lebendes und keinerlei Lebenszeichen findet und sich nach jenen Bedingungen gerichtet hat, so gebe ich meine Theorie auf und verzichte auf meine Vorstellungen. Das ist, glaube ich, alles, was ein billig urteilender Gegner von mir verlangen kann.“

„Dies ist der wahre Verlauf der Diskussion, welche sich allein zwischen Needham und Spallanzani abgespielt hat. In dem dritten Kapitel des ersten Bandes seiner Opuscles beseitigt dann Spallanzani die entscheidende Schwierigkeit. Und

*) Ein ähnlicher Einwurf ist den experimentellen Bekämpfern der Urzeugung später von Nägeli gemacht worden. Vgl. über dessen Anschauungen weiter unten.

welches ist seine Schlussfolgerung? Um jede Produktion von Infusorien zu unterdrücken, ist es notwendig, die Aufgüsse dreiviertel Stunden auf der Siedhitze des Wassers zu erhalten. Diese notwendige Dauer der Erhitzung von dreiviertel Stunden auf 100°, rechtfertigte sie nun nicht die Furcht Needham's, dass die Luft in den Gefässen sich verändert haben könnte? Es wäre wenigstens notwendig gewesen, dass Spallanzani seinen Versuchen eine Analyse dieser Luft beigefügt hätte. Allein die Wissenschaft war noch nicht so weit vorgeschritten; der Eudiometer war noch nicht erfunden. Die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft war kaum bekannt.

„Die Versuchsergebnisse Spallanzani's über den kritischsten Punkt der Frage nahmen den Einwürfen von Needham nichts von ihrem Gewichte. Vielmehr wurden diese durch die weiteren Fortschritte der Wissenschaft wenigstens scheinbar gerechtfertigt*).

„Appert machte bald eine Anwendung der Spallanzani'schen Versuchsergebnisse, welche nach der Methode Needham's erhalten worden waren, für die Zwecke der Haushaltung. Eines der Experimente des italienischen Gelehrten bestand z. B. darin, Erbsen mit Wasser in ein Glasgefäß, welches nachmals hermetisch verschlossen ward, einzuführen, wonach man es $\frac{3}{4}$ Stunden über auf den Siedepunkt des Wassers erhitzte. Dies ist genau der Appert'sche Prozess.“

Das Mitgeteilte ist ein wesentliches Stück der Vorgeschichte von der auch in unserem Zeitalter so lebhaft ventilirten Frage nach der Möglichkeit einer Urzeugung. Mir schien die Pasteur'sche Darstellung jener Vorgänge interessant genug, um sie in der Übersetzung unverkürzt wiederzugeben.

Nach Appert tritt dann Gay-Lussac mit seinen Experimenten für die Entscheidung der Streitfrage auf. Derselbe zeigte in der That, dass die eingeschlossene Luft der Konservierungsgefässe chemisch verändert ist, nämlich ihres Sauerstoffs beraubt. Er schloss hieraus und noch aus anderen Versuchen, dass der Sauerstoff ein Fermenterzeuger sei, wie wir dies schon in der dritten Vorlesung zu schildern Gelegenheit hatten. Obgleich nun allerdings Gay-Lussac sich nicht an der Frage nach dem Ursprung der bei den Zersetzungen auftretenden Organismen beteiligt hat, so erkennt man doch an seinem Nachweis, wie auch Pasteur mit Schärfe hervorhebt, die Berechtigung des Needham'schen Einwurfs gegen die Spallanzani'schen Folgerungen.

Was hierbei als für unsern Gegenstand besonders beachtenswert erscheint, ist, dass Einwürfe ähnlicher Art auch unseren heutigen negativ ausfallenden Versuchen über Urzeugung gemacht werden können, und dass man sich überhaupt mit denselben in der üblen Lage befindet, mit jedem einzelnen Versuche nur die Wahrscheinlichkeit einer Urzeugung um einen geringen Wert herabzudrücken, aber bei der Beschränktheit der experimentell ausführbaren Versuchsvariationen die Möglichkeit

*) Ich hebe hier anmerkungsweise hervor, dass die Needham-Buffon'sche Anschauung, trotz der Annahme einer elternlosen Zeugung, doch nicht das Entstehen der Organismen auf der Erde zu erklären vermochte, da in ihr nur die Urzeugung der organisierten Form, nicht die der organisierten Substanz angenommen war, und dass sie also in dieser Beziehung gar nicht der heute überwiegend geltenden Anschauung, dass Urzeugung in der Gegenwart nicht stattfände, überlegen war.

einer solchen Neuentstehung von Organismen niemals gänzlich aus dem Felde schlagen zu können, während die Gegner mit einem einzigen streng durchgeführten Experimente mit positivem Resultate den Sieg endgültig den ihren zu nennen in der glücklichen Lage wären.

Wir verfolgen hier nicht mehr den weiteren Verlauf der Beweisführung gegen das fortwährende Statthaben einer elternlosen Organismenerzeugung. Wir wissen aus unsern früheren Betrachtungen, dass diese Beweisführung vor allem an die Namen Schwann und Pasteur geknüpft ist, und wissen ebenso, welche Belege für die nunmehr gegebene Entscheidung beigebracht worden sind. Es ist hier nur, anknüpfend an das Ebengesagte, zu konstatieren, dass zwar alle Versuche, die generatio spontanea mit überzeugender Sicherheit nachzuweisen, bis jetzt missglückt sind*), und dass dies auch im besondern für die Organismen gilt, welche uns hier in erster Linie angehen, für die Gärungsorganismen. Allein aus den schon angeführten Gründen, und weil nach menschlichem Ermessen Urzeugung unter Bedingungen, die voraussichtlich experimentell nachzuahmen sein werden, einmal möglich gewesen sein muss, erscheint es mir als der einzig richtige Standpunkt, die bis jetzt vorliegenden experimentellen Resultate ihrem Werte nach gelten zu lassen, aber sich trotzdem in keiner Weise für die Unmöglichkeit einer Urzeugung für alle Organismen allzu leidenschaftlich zu engagieren.

In der Gegenwart hat, wie gesagt, dem vorherrschend empirischen Zeitgeiste zufolge die rein induktive Schlussfolgerung, dass keine Urzeugung möglich sei, bei weitem das Übergewicht. Auch Gegner dieser Anschauung stützen sich selten auf spekulative Gründe, sondern auf (wie man annimmt) missdeutete positive experimentelle Beweise. Einiges Wenige hierüber sei mitgeteilt.

So kämpfen auch in der neuesten Zeit immer noch einzelne Forscher**) für die Urzeugung, indem sie das spontane Auftreten von Organismen im Innern von ge-

*) Von zweifelhaften Erfolgen abgesehen, von denen gleich die Rede sein wird.

**) Z. B. Hartig: Landw. Versuchsst., B. 10, p. 162. Auch später noch Bastian in England, Huisinga in Holland. Als direkte Beobachtung führte z. B. Hartig folgendes auf: „Taucht man unzweifelhaft gesunde Kartoffelknollen einseitig ungefähr eine Minute lang in siedendes Wachs, nach dem Erkalten etwas tiefer in Kollodium, so müssen alle Pilzkeime, die im Bereiche der Erhitzung möglicherweise auf oder in der Knolle vorhanden waren, durch die Hitze gleichzeitig mit den Zellen getötet sein. Untersucht man das unter der Wachdecke befindliche Zellgewebe solcher Kartoffeln 3—4 Tage später, so findet man zwischen den, im Wasser des Objektivträgers leicht sich isolierenden, Kartoffelzellen Myriaden freier Kügelchen, deren Abstammung aus den Molekülen der zerfallenden Zellwandungen durch wässrige Jodlösung leicht erkennbar ist. Die Schichtungen der Zellwand trennen sich und zerfallen schichtweise von aussen nach innen fortschreitend in ihre molekularen Elemente, die wie die Zellwand durch Jodlösung rotblau gefärbt werden, wenn und wo die Erhitzung eine genügend hohe war. Irre ich nicht, so würde Hallier diese Kügelchen schon als Kernhefe niedrigster Bildungsstufe ansprechen. Meiner Meinung nach sind sie es noch nicht, solange sie auf Jodlösung mit blauer Farbe reagieren, aber sie *werden* es und können schon am vierten Tage zu leptothrixähnlichen Körnerfäden sich entwickelt haben.“ — Diesem Nachweis Hartig's lassen sich nun einige gewichtige Einwände machen: Einmal das kurze Erhitzen, da wir aus dem Pasteur'schen und noch besser aus Nägeli's neuesten Versuchen wissen, mit welcher Hartnäckigkeit einzelne niedere Organismen selbst sehr hohen Temperaturen Widerstand leisten.

kochten Früchten, Knollen oder Aufgüssen beobachtet haben wollen. Ihre Mitteilungen werden indessen kaum beachtet, da Täuschung leicht Platz greift und in zu vielen andern Fällen das Gegenteil gefunden worden ist. Die Ursachen der Täuschung liegen meistens in einem nicht anhaltend fortgesetzten Erhitzen, so dass die Wärme nicht lange genug auf das Innere der Substanzen eingewirkt hat, oder in der sehr hohen Tötungstemperatur mancher niedrigsten Organismen. Der Einwurf Needham's, dass durch zu lange fortgesetztes Erhitzen diese Substanzen zu sehr verändert werden könnten, um noch einen günstigen Nährboden für die Organismen zu bieten, hat jetzt wenig Geltung mehr, da man weiss, wie nach minimaler Aussaat von solchen Organismen dieselben Substanzen hierzu sich geeignet erweisen. Ebensowenig auch darf der andere Einwurf allzusehr beachtet werden, dass durch langes Erhitzen die miteingeschlossene Luft verdorben werden könnte, da wir die Unabhängigkeit vieler niedrigen Formen, wenigstens in manchen Lebensstadien von anwesendem Sauerstoff seither kennen gelernt haben. Auch ist wohl in andern Fällen der Abschluss ungenügend gewesen, um das Eindringen von Organismen von aussen gänzlich zu verhindern. — Manchmal mag selbst bei ähnlichen Angaben die Braun'sche Molekularbewegung unorganisierter, aber vielleicht regelmässig gestalteter Körperchen bei ungeübten Mikroskopikern Veranlassung zum Irrtum gegeben haben.

Als eine Besonderheit mag noch erwähnt werden, dass manche der Partei-gänger der elternlosen Zeugung weniger das Stattfinden derselben in beliebiger toter Substanz behaupten, als — ähnlich der Meinung Buffon's und Needham's — dass Substanz, die eben erst noch organisiert gewesen ist, wie das Innere von frisch getöteten Pflanzenteilen, das Substrat für das Auftreten von Urzeugung abgäbe. Ich bemerke aber wiederum, dass diese Anschauung uns hinsichtlich des Ursprungs der Organismen auf der Erde ebenso in Dunkelheit lässt wie die Verwerfung aller Urzeugung, und dass sie deshalb ebensowenig unsern philosophischen Sinn befriedigt.

Ein ganz spezifischer Einwurf, welchen moderne Vertreter der Urzeugung wohl ihren Gegnern gemacht haben, hat noch ein besonderes Interesse, weil diese Schwierigkeit gerade in Laienkreisen bezüglich der rapiden Verbreitung von Gärungs- und Ansteckungserscheinungen sehr allgemein empfunden wird. Ich meine natürlich den Einwurf, dass es unsinnig sei, eine so rasche Vermehrung der niedrigen Organismen, wie zur Erklärung dieser Erscheinungen notwendig sei, anzunehmen, und dass man auf diese Weise trotz Statuierung der Infektion von aussen doch in vielen Fällen noch ausserdem zu der Annahme einer Urzeugung sich entschliessen müsse.

Es ist somit keineswegs über allen Zweifel erhaben, ob z. B. vorhandene Bakterienkeime, die vorher im Innern von den Kartoffeln sich befanden, nicht unbehelligt geblieben sind. Das Gegenteil ist vielmehr sehr wahrscheinlich. Mehr Bedenken erweckt freilich der andere Punkt, wie solche Keime ins Innere von gesunden Knollen gelangen, auf welchen auch Hartig an einer anderen Stelle hindeutet (p. 106, a. a. O.). Doch dürfte die Meinung, dass in gesunden Pflanzen Keime von niedrigen Organismen vorhanden sein können, wie ja parasitische Pilze thatsächlich in dieselben eindringen, mehr Berechtigung haben, als dass man sofort die Möglichkeit der Urzeugung — bei der sehr grossen Anzahl entgegenstehender Experimente — konstatiert zu haben glauben darf.

Geben wir in dieser Angelegenheit einem jener Parteigänger selber das Wort*):

„Dass Pilzkeime in die Luft übergehen und von dort aus in einen offenen Keimboden gelangen, darin sich entwickeln können, ist keinem Zweifel unterworfen. Insofern aber bei Krankheiten lebender, wie bei Gärung, Verwesung, Fäulnis äusserlich unverletzter abgestorbener Pflanzen nur wirklichen Sporen das Vermögen zuständig ist, sich Zugang in das Pflanzeninnere zu verschaffen, leugne ich das Vorkommen *so vieler* Pilzsporen in der Luft, dass sich daraus die Verbreitung der mit Pilzbildung verbundenen Krankheiten, die Unfehlbarkeit des Eintretens aller inneren Gärungs-, Verwesungs- und Fäulnisprozesse herleiten lässt. Wäre die Menge der Sporen in der Luft eine hiermit im Verhältnis stehende, wir würden unsere mikroskopischen Präparate keine Stunde von Pilzsporen frei erhalten können. Ich bewahre meine Präparate in Öl und Glycerin *ohne Deckglas* oft jahrelang an staubfreien Orten, die der Schimmelbildung keineswegs unzugänglich sind, finde sie aber stets frei von Pilzsporen. Man lege mit Öl oder Glycerin bestrichene Objektgläser neben enghalsige Infusionsflaschen. Während in letzteren die Schimmelbildung in den gesetzlichen drei Tagen eintritt, zeigen die Objekttafeln nur in höchst seltenen Fällen einer Pilzspore ähnliches**). Es ist aber doch wohl nicht anzunehmen, dass die Pilzkeime nur da sich häuslich niederlassen, wo sie einen entsprechenden Keimboden wittern. Hierher gehört auch das in meinem Forstgarten ausgeführte Experiment. Baumwolle zwischen Deckgläser gepresst, durch welche zwei Millionen Kubikcentimeter Luft hindurchgeleitet waren, hätte nach einfacher Berechnung ebenso viele Millionen Pilzkeime enthalten müssen, da der Zutritt von einem Kubikcentimeter frischer Aussenluft genügte, um in einer zwei Jahre lang unter Baumwollverschluss unverändert aufbewahrten Brotaufguss die Schimmelbildung hervorzurufen, zeigte aber nicht *eine* Spore. Es gehört hierher ferner die aus Vermehrung durch Teilung nicht zu erklärende *Gleichzeitigkeit* des Auftretens von Milliarden kleinster Gärungspilze unter der Wachsdecke der gebrühten Kartoffeln, wie in freien Infusionen. Ich habe mich mehreremal bemüht, ein einzelnes dieser kleinsten unter 0,001 Millimeter grossen Körnchen möglichst lange im Auge zu behalten, und darf sagen, dass, *wenn hier überhaupt eine Vermehrung durch Selbstteilung stattfindet*, gewiss mehr als eine Stunde zwischen je zweien Teilungen liegt. Man müsste daher, *wenn* die Vermehrung dieser kleinsten Gärungspilze zu so ungeheuren Mengen auf Selbstteilung beruht, immerhin doch einen Fortschritt von relativ wenigem zu vielem beobachten, was in entsprechender Weise nicht der Fall ist.“

In einigen dieser namhaft gemachten Punkte ist gewiss auf nicht zu verkennende Schwierigkeiten unserer heutigen Anschauungen hingewiesen, — Schwierigkeiten, welche noch experimentell zu überwinden die jetzt herrschende Partei aber keineswegs zu verzweifeln braucht. Als Beispiel, wie die von Hartig berührte Frage nach der Vervielfältigung der Bakterien zu erörtern ist, mag der Nägeli'sche

*) Vgl. Hartig a. a. O.

**) Der Grund hierfür liegt wohl in der schon früher berührten Schwierigkeit, eingetrocknete Pilz- und nun gar Bakteriensporen zwischen unorganischem Staub mikroskopisch zu unterscheiden.

Versuch dienen, die Raschheit der Aufeinanderfolge der einzelnen Generationen nicht mit dem Mikroskope, sondern mit chemischen Reagentien zu ermitteln. Es sei mir gestattet, die betreffende Versuchsbeschreibung durch eine rechnerisch vereinfachte Argumentation zu interpretieren. Nägeli arbeitet mit Bakterien, welche Säuerung einer bestimmten Nährlösung verursachen, und misst den physiologischen Effekt durch das erste Auftreten einer Rotfärbung beigemischter Lackmuslösung. Er geht hierbei von der beinahe selbstverständlichen Voraussetzung aus, dass dieser messbare physiologische Effekt jedesmal durch dieselbe Anzahl von Bakterien bewirkt werde, ob nun die ursprüngliche Aussaat derselben etwas grösser oder kleiner ist.

So schwierig es nun ist, eine ursprüngliche bestimmte Anzahl von Bakterien einer solchen frisch bereiteten Nährlösung beizufügen, so leicht ist es, zwei gleiche Nährlösungen so zu infizieren, dass in dem einen Falle ein bestimmtes Multiplum von Bakterien gegenüber einer anderen Lösung vorhanden ist; man braucht nur der einen Lösung 1 ccm einer gewissen mit Bakterien besetzten Flüssigkeit zuzusetzen, in dem andern Fall 2 oder 3 ccm oder 1 ccm einer genau in einem solchen multiplen Verhältnisse verdünnten Infektionsflüssigkeit.

Nehmen wir z. B. an, wir haben zwei genau vergleichbare Versuche mit der einfachen und der doppelten Aussaat. In dem ersten Falle seien a , im zweiten

Falle $\frac{a}{2}$ Bakterien ursprünglich vorhanden; t_1 und t_2 seien die Zeiten, innerhalb welcher in den beiden Fällen die Säuerung habe konstatiert werden können; so können wir eine Gleichung aufstellen, welche die Gleichheit des endgültig erreichten physiologischen Effektes zur Grundlage hat. Diese Gleichheit kann aber der gemachten Voraussetzung nach nur erreicht werden durch die gleiche Anzahl der während der ganzen Zeitdauer der Vegetation wirksam gewesenen niedrigen Organismen. Ist t die gesuchte mittlere Zeit einer Generation, so wird also die Gleichung Geltung haben:

$$a + 2a + 2^2a + 2^3a + \dots + 2^{ma} - \left(\frac{a}{2} + \frac{2a}{2} + \frac{2^2a}{2} + \frac{2^3a}{2} + \dots + \frac{2^{na}}{2} \right) = 0$$

unter der Voraussetzung, dass bei einer jeden Generation eine Zelle, wie dies für die Bakterien festgestellt ist, unter Teilung sich verdoppelt und wobei der gemeinschaftliche Faktor eines jeden Gliedes der beiden geometrischen Reihen t weggelassen ist; m und n brauchen hierbei keine ganze Zahl zu sein, sie können es in der Regel nicht sein, was aber der Operation mit Summen von geometrischen Reihen, wie bekannt, keinen Eintrag thut.

Die aufgestellte Gleichung lässt sich nun auf die einfachere Form bringen:

$$a + 2a + 2^2a + 2^3a + \dots + 2^{ma} - \left(\frac{a}{2} + a + 2a + 2^2a + 2^3a + \dots + 2^{n-1}a \right) = 0$$

und da die ursprüngliche Aussaat gegenüber der gesamten Organismenentwicklung bei einem richtig angestellten Versuche sehr klein sein muss, so verschwindet $\frac{a}{2}$ und dann steht jedem positiven Gliede der Gleichung ein gleichartig gestaltetes

negatives gegenüber, infolge wovon $2^m a = 2^{n-1} a$ sein muss, und $m = n-1$. Kurz, alles ist in den beiden Stücken der Gleichung identisch, und die Zeiten bis zur Erreichung des gleichen physiologischen Effekts können nur deshalb und insofern ungleich sein, als $\frac{a}{2}$ sich zu a entwickeln musste, bis in dem zweiten Versuche die ursprünglichen Verhältnisse des ersten Versuches erreicht waren. Diese Zeit t muss also gleich der Differenz der für den Verlauf des ganzen Prozesses nötigen Zeit t_2 und t_1 sein. Die elementare Lösung für diesen einfachsten Fall*) ist also

$$t = t_2 - t_1,$$

soviel der zweite Versuch länger dauert, solange ist die Dauer einer Generation.

*) Nägeli hat sich durch Setzen eines minder einfachen Falles (10 an Stelle einer Potenz von 2) die Beweisführung rechnerisch unnötig erschwert. Aber auch für den von ihm gewählten Fall giebt es eine einfachere Herleitung. Nimmt man nämlich zu den beiden Versuchen a und $\frac{a}{4}$, so werden 2 Anfangsglieder der zweiten Gleichung überschüssig $\frac{a}{2^2} + \frac{a}{2}$, deren Effekt der Annahme nach gegen den Gesamteffekt verschwinden soll. Nun wird

$$2t = t_4 - t_1.$$

Für die Vergleichung zweier Versuche mit a und $\frac{a}{8}$ Bakterien wird $3t = t_8 - t_1$, wobei der Gebrauch der Indexe für t verständlich sein wird, oder allgemein

$$ot = t_p - t_1,$$

wobei zwischen o und p die Beziehung besteht: $p = 2^o$ oder $\frac{\log p}{\log 2} = o$. Also wird die allgemeine Gleichung:

$$t \log p = (t_p - t_1) \log 2.$$

Für den Fall, den Nägeli wahrscheinlich mit Rücksicht auf die vorkommenden Logarithmen gewählt hat, $p = 10$ wird hieraus

$$t = (t_{10} - t_1) \log 2,$$

und da $t_{10} - t_1 = 12$ gefunden ist,

$$t = 3 \cdot 612.$$

Für die dritte und erste Nägeli'sche Reihe

$$t = (t_{100} - t_1) \log 2,$$

und da $t_{100} - t_1 = 24$ ist,

$$t = \frac{24}{2} \log 2 = 3 \cdot 612.$$

Überhaupt ergibt sich hieraus, dass die Zeitdifferenzen für proportionale Verdünnung gleich werden müssen. Da die Nägeli'schen Zeitdifferenzen für proportionale Verdünnung gleich sind, so ergibt sich, dass seine beiden Resultate nur durch rechnerische Fehler um 1% differieren. — Wie gesagt, ist aber die Verdünnung in Zahlenverhältnissen, die nicht Potenzen von 2 sind, für das Resultat unnötig, und macht nur die Rechnung verwickelt und daher nicht so allgemein verständlich. Mit den Grössen n und m zu operieren ist jedenfalls überflüssig. — Endlich ergibt sich aus der Gleichheit der von Nägeli gefundenen Intervalle die Richtigkeit der gemachten Voraussetzung, dass man bei minimaler Aussaat den Effekt dieser Aussaat selber vernachlässigen kann. — Hypothetisch ist nur noch an der ganzen Herleitung, dass der physiologische Effekt auch wirklich proportional erfolgt der Massenentwicklung. Für die Hefe von *Saccharomyces* ist dies, wie wir später sehen werden, entschieden nicht strenge der Fall.

Auf diese Weise findet Nägeli die Zeit einer Generation für seine Versuchsbakterien gleich 3,6 Stunden bei gewöhnlicher Temperatur, bei Blutwärme aber schon 20 Minuten. Bei Blutwärme können also gewisse Bakterien in einer Stunde sich verachtfachen, in zwei Stunden sich verhundertfachen und dann fort in rapider Progression. Zieht man dieses in Betracht, so wird das Hartig'sche Erstaunen über die rasche Vermehrung ungerechtfertigt, selbst wenn man die Geduld verliert, die Teilung selbst zu beobachten.

Um bei dem Hefepilze die Raschheit der Aufeinanderfolge zweier Generationen zu bestimmen, hat sich Pedersen in Kopenhagen*) einer etwas anderen Methode bedient, welche darin besteht, die Menge der Zellen auf dem Objektträger bei sehr gleichmässiger Ausbreitung derselben zu verschiedenen Zeiten geradezu zu zählen. Pedersen kommt auf Grund solcher Zählungen mit Hilfe ebenso einfacher rechnerischer Hilfsmittel zu folgenden Resultaten:

Bei 4° C. erfordert eine Hefegeneration 20 Stunden

"	13,5	"	"	"	10,5	"
"	23	"	"	"	6,5	"

endlich ein Maximum der Geschwindigkeit von 5,8 Stunden bei 28° C., von da ein rasches Abfallen bis gegen 38° C., bei welcher Temperatur die Hefefortpflanzung erlischt. Der Vergleich dieser Resultate mit den Nägeli'schen lehrt, dass die Bakterienentwicklung zumal bei höherer Temperatur sehr viel rascher erfolgt als die Hefepilzvermehrung. Übrigens verhalten sich verschiedene Hefearten und verschiedene Bakterien in dieser Beziehung merklich verschieden.

Hierdurch sind allerdings z. T. die eben erwähnten Einwürfe beseitigt. Andere dagegen haben nur wenig von ihrer Kraft eingebüsst. So ist an dieser Stelle nochmals im Sinne Needham's darauf aufmerksam zu machen, dass die experimentellen Beweisführungen gegen die Urzeugung häufig die Wahrscheinlichkeit unnötig vermindert haben, das zu finden, was eben nicht gefunden werden sollte. Soll die in Rede stehende Frage exakt durch die direkte Erfahrung bearbeitet werden, so müssen doch bestimmte verdächtige Organismenformen, nicht niedrige Organismen im allgemeinen, ins Auge gefasst werden; und diesen bestimmten Formen kommen bestimmte Lebensbedingungen zu. Zur Entfernung der Keime hat man diese Bedingungen vorübergehend zu zerstören. Aber man soll nicht ein übriges thun, weil immer die Gefahr vorliegt, damit etwaige unbekannte Bedingungen des Stattfindens einer elternlosen Zeugung ebenfalls zu beseitigen. Man soll also beispielsweise, wie auch Nägeli ganz folgerichtig verlangt, nicht auf 100° erhitzen, wenn 55° oder 65° genügen, die fraglichen Organismen zu töten**). Man sollte also dem Erhitzungsversuch eine Ermittlung der Tötungstemperatur vorausgehen lassen und dann aus dieser Erfahrung für den entscheidenden Versuch Nutzen ziehen. Diesem Postulate

*) Meddelelser fra Carlsberg Laboratoriet, 1878, Forste Hefte.

**) Für Pasteur'sche Gärungsgemische mit Ammoniaksalzen machen freilich einige Grade mehr oder weniger für die Konstitution nichts aus. Aber möglicherweise sind dies gerade für das Stattfinden einer „generatio spontanea“ recht ungünstig zusammengesetzte Flüssigkeiten.

ist in der That nur in den seltensten Fällen genügt worden. Freilich ein Rest dieser Schwierigkeit bleibt unter allen Umständen bestehen, und daran krankt die ganze experimentelle Beweisführung in dieser wichtigen Sache. Allein die Bemerkung ist nicht grundlos, dass man diese Schwierigkeiten manchmal unnötig gesteigert hat.

Endlich ist noch ein weiterer und sehr gewichtiger Grund, der dem morphologischen Gebiete entnommen ist, gegen die jetzt herrschende absprechende Parteilängerschaft des „*omne vivum ex ovo*“ ins Feld zu führen. Derselbe wird uns hinsichtlich der Allgemeingültigkeit des Satzes, den wir zunächst nur für die Gärungsorganismen zu verfechten unternommen haben, aber allerdings für diese als endgültig bewiesen erachten müssen, noch misstrauischer machen, so wenig auch die rein erfahrungsgemässen Einwürfe denselben bis jetzt ernstlich zu schädigen vermochten.

Dieser Grund ist in kurzem der, dass wir noch heute Geschöpfe auf sehr niedrigen Stufen der Entwicklung antreffen, während dies nach dem Fortschreiten der Organisationsvervollkommnung, wie eine solche nach dem Darwin'schen Prinzip der natürlichen Zuchtwahl und auch nach den neueren Modifikationen der Descendenztheorie anzunehmen gezwungen sind, nicht zu erwarten wäre. So meint der Zoologe Häckel — und in einem ähnlichen Sinne hatte sich auch der nun verstorbene Botaniker Nägeli ausgesprochen —, dass fortdauernd die niedersten Formen durch Urzeugung neu entstanden, und dass sie deshalb je nach dem Alter dieses Aktes noch nicht Zeit gehabt hätten, sich zu Höherem umzubilden.

Hiergegen bleibt allerdings zu erinnern, dass die Organisation, welche dem Morphologen von seinem menschlichen Standpunkte aus als die vollkommnere erscheint, dies nicht zu sein braucht für die eigentümlichen Lebensbedingungen irgend einer niedrigen Form, die häufig mit den allereinfachsten Waffen den Kampf um das Dasein siegreich besteht, und dass ausserdem eine Vervollkommnung in einer gewissen Richtung, die nachher nicht mehr verlassen werden kann, weit früher ihren Abschluss erreichen muss als in einer andern. Man kann sagen, dass die Differenzierungsbewegung in diesem Falle in eine Sackgasse gerät. Der vergleichende Anatom bezeichnet auch die Ausbildung von Flugorganen an einem bis dahin flügellosen Insekt als eine Vervollkommnung, und gleichwohl sind (z. B. auf Inseln) Fälle bekannt, wo jene zum Schaden gereichen und der Rückbildung anheimfallen. Diese Bedenken würden sich gewiss von einem Kenner des einschlagenden wissenschaftlichen Materials noch weiter spinnen lassen.

Zweifellos aber hat der geltend gemachte Gesichtspunkt seine Bedeutung für die spekulative Bearbeitung der Frage nach der „*generatio spontanea*“, um so mehr, als die experimentelle Erörterung derselben, wie wir gesehen, ihre grossen Schwierigkeiten hat. Lassen wir daher Nägeli mit seinen eigenen Worten den eingenommenen Standpunkt begründen, da dieser Forscher in der Entwicklung seiner Anschauungen konsequenter erscheint als sein Gesinnungsgenosse unter den Zoologen*).

„Das Vervollkommnungsprinzip gestattet keinen Stillstand; die organische Welt muss sich in ihrer Entwicklung vorwärts bewegen. Wenn auch eine Art durch

*) Vgl. Askenasy: Beiträge zur Kritik der Darwin'schen Lehre, Leipzig 1872, p. 111.

eine ganze geologische Periode und länger gleich zu bleiben scheint, so gehen doch immer Veränderungen vor sich, welche endlich mit Notwendigkeit die morphologische Weiterbildung herbeiführen. Es müssten daher der jetzigen Flora und Fauna die niederen Organismen mangeln, wenn die Reiche nur von *einer* im Anfange entstandenen Urzelle abstammten. *Hat aber*, wie ich es wahrscheinlich zu machen suchte, *durch alle Zeiten hindurch Urzeugung stattgefunden, so müssten auch jederzeit alle Organisationsformen von den niedersten bis zu den höchsten vertreten sein.* Denn die Entwicklung der Reiche hat fortwährend von neuem begonnen und aufsteigende Reihen durchlaufen, die den früheren analog waren, aber wegen der veränderten Verhältnisse in modifizierter Form auftraten*).

Die Kritik möchte auch an der in dieser Form produzierten Anschauung manches zu erinnern haben. Immerhin fällt mit ihr ein neues Gewicht in die Wagschale der dauernden Möglichkeit der elternlosen Zeugung. Überhaupt, je länger man sich mit der aufgeworfenen Frage beschäftigt, um so mehr gelangt man zu der Überzeugung, dass die erfahrungsgemässe Entscheidung derselben keineswegs die vernunftgemässere ist. Und da Beobachtung und Experiment, indem sie gegen die Urzeugung zu entscheiden vermeinten, im Grunde nichts endgültig entschieden haben und ebenso nur durch eine Zufälligkeit etwas zu entscheiden vermögen werden, so müssten wir eigentlich jenen vernünftigen Erwägungen, deren wichtigste wir eingangs dieser Vorlesung vorgebracht haben, die Oberhand verstatten — eine Entschliessung, zu der sich unser Zeitgeist aber nur ungern bereit finden lassen wird.

Für unsern Zweck ziehen wir aus den heutigen Betrachtungen nur folgendes kleine Resumé:

- 1) Eine Neuentstehung von Organismen ohne Mitwirkung von schon vorhandenen, d. i. Urzeugung, ist mit Sicherheit für keine Organismenform beobachtet worden.
- 2) Dennoch ist jedenfalls auf die *einmalige* Urzeugung niederer Formen und vielleicht auch die dauernde Möglichkeit solcher Zeugungen aus anderen Erfahrungen vernunftgemäss zu erschliessen.
- 3) Die Annahme einer Urzeugung ist indessen keinesfalls für diejenigen Organismengruppen, denen die alkoholischen und auch einige verwandten Pilze und selbst die gärungserregenden Bakterien angehören, mit unserer Erfahrung verträglich.
- 4) Deshalb ist es möglich, eine gärfähige Flüssigkeit durch *vorübergehende* Beseitigung der Lebensbedingungen des gärungserregenden Pilzes und bei *dauerndem* Abschluss von neuen Keimen auch dauernd vor der Gärung zu schützen, wie man sich ausdrückt, zu konservieren und so u. a. den Beweis der Abhängigkeit dieser von der Hefepilzentwicklung zu führen.

*) Nägeli: Über Begriff u. Entst. der naturhist. Art. München 1865.

Sechste Vorlesung.

Beschreibung der hauptsächlichsten Organismen der alkoholischen Hefe.

Im Vorhergehenden haben wir gesehen, dass die wirksame Hefe in alkoholischer sowie auch in anderer Gärung befindlicher Flüssigkeiten im wesentlichen aus niedrigen pflanzlichen Organismen besteht, die sich durch Sprossung forterzeugen, und etwa noch, dass diese Organismen als Pilze bezeichnet worden sind.

Es lag nun auf der Hand, die Natur dieser Organismen botanisch zu bestimmen, und in der That hat sich schon frühe eine Reihe von Forschern in dieser Richtung bemüht; da aber einmal vielfach die Frage von Nichtmorphologen in Angriff genommen wurde, auch zur Zeit Cagniard de Latour's und Schwann's die Entwicklungsgeschichte der den Hefepilzen nahe verwandten Organismen noch nicht genügend bekannt, und namentlich eine Methode, solche Entwicklungsgeschichten zu beobachten, noch nicht gefunden und entfernt nicht Gemeingut eines grösseren Kreises von Botanikern geworden war, so darf es nicht wunder nehmen, dass lange Zeit sehr Unvollständiges oder gar Verkehrtes über Natur und Entwicklung des Hefepilzes Verbreitung fand.

Die Bestrebungen gingen nach mehreren Richtungen, die wir hier nicht alle gleichzeitig verfolgen können, auseinander. Zunächst wollen wir die Frage *nach der Einheit der Spezies der Hefeorganismen* berühren. Es konnte schon einer oberflächlichen Beobachtung nicht entgehen, dass die Hefe der obergärigen Biere eine etwas andere Art der Sprossverbindung zeigte als die der untergärigen. In den letzteren sind nämlich die einzelnen Zellen vorherrschend unzusammenhängend, höchstens zu zweien miteinander verknüpft, während in ersterer reiche Verzweigungen die Regel sind. Weiter unten werden wir uns eingehender mit diesen Unterschieden zu beschäftigen haben. — Ausserdem wusste man, dass die Weinhefe aus etwas kleineren Zellen bestehe als die Bierhefe. Beide Beobachtungen hätten Veranlassung geben können, schon frühe verschiedene Spezies der Hefepilze aufzustellen.

Wir haben dem gegenüber anzuführen, was hieraus in früheren Zeiten geschlossen worden ist. Die Weinhefe wurde, wie schon aus den Angaben mancher älteren Lehrbücher hervorgeht, vielfach als eine weniger gut gebildete Vegetation desselben Hefepilzes als der Bierhefe angesehen, als eine Form, die durch eine nicht ganz angemessene Ernährung etwas an Grösse und derber Ausbildung eingebüsst hatte. Ober- und Unterhefe des Bieres wurden häufig als zwei verschiedene Formen auseinandergehalten, und sogar manchmal eine andere Art von Fortpflanzung für diese beiden Bildungen angenommen — ein Gegenstand, der kurz berührt zu werden verdient.

Für die Oberhefe war allgemein erkannt, denn es war der Beobachtung leicht zugänglich*) und ausserdem in den vielfachen Sprossverbänden verkörpert vor

*) Über dabei nötige Vorsichtsmaassregeln vgl. R. Wagner: Journal für pr. Chemie, B. 45, p. 242.

Augen zu schauen, dass die Vermehrung derselben durch Sprossung vor sich ging, d. h., dass eine in Vermehrung begriffene Zelle eine seitliche Ausstülpung ihrer Zelloberhaut machte, Zellinhalt hinein ergoss, dass dieser neu entstandene Spross wuchs, bis er die Grösse der Mutterzelle erreicht hatte, um dann selber auf die gleiche Art Tochterzellen zu bilden. — Alles dies geschieht natürlich nur bei genügender Wärme und entsprechender Nahrungszufuhr.

Bei der Oberhefe nun bleiben die so entstandenen Sprossverbände eine gewisse Zeit hindurch bestehen, so dass Mutterzellen und Tochterzellen weit über den erwachsenen Zustand der letzteren hinaus aneinander haften bleiben. Ein Irrtum über das Entstehen dieser Sprossverbände war kaum möglich, und so war diese Art der Vermehrung der Oberhefe frühe festgestellt.

Anders verhält es sich mit der am Boden der in Untergärung befindlichen Biere sich ablagernden Hefe. Hier sind keine weitverzweigten Sprossverbände vorhanden, wenn auch einmal zwei Zellen aneinander hafteten. (Vergl. Fig. 3 u. 5 auf p. 87.) Hier war also jener Zusammenhang weniger klar, und man schloss in der That vielfach auf eine andere Art der Vermehrung, oder man erklärte gar die letztere für abgestorbene oder wenigstens relativ alte und unthätige Hefezellen, die nicht weiter zur Gärung tüchtig seien und sich unten in den gärenden Flüssigkeiten ablagerten — freilich die gewichtige Thatsache ganz ausser Augen lassend, dass viele Biere ganz allein durch die Thätigkeit dieser Unterhefe*) zu stande kommen.

Auch Pasteur, der sich bekanntlich mit der morphologischen Seite der Gärungsfrage wenig befasst hat, erklärte später Ober- und Unterhefe als spezifisch gleich**); nur sei die letztere älter und weniger lebenskräftig. Was die Weinhefe angeht, so scheint dieselbe auch von Pasteur früher nicht als ein von der Bierhefe verschiedener Organismus aufgestellt worden zu sein, sondern nur als weniger gut ausgebildet als diese, wie er ja wirklich durch seine Untersuchungen fand, dass das Aussehen und auch wohl die Grösse des Hefepilzes sehr wesentlich durch seine Ernährung

*) Allerdings pflegt sich von der sogenannten Unterhefe während der Gärung ein Teil in die Höhe zu heben, der dann auch zahlreichere Sprossverbände zeigt, so dass hierdurch jene Meinung bis zu einem gewissen Grade gerechtfertigt wird. — Diejenigen, welche sich die Unterhefe nicht durch Sprossung vermehren liessen, hatten teilweise für dieselbe eine andere Fortbildungshypothese aufgestellt, welche später widerlegt worden ist. Dieselbe sollte nämlich Körnchen ihres Protoplasmas ausstossen, die eine Zeit lang sich stark bewegten, dann sich vergrösserten und zu neuen Hefezellen heranwuchsen. Einer solchen oder ähnlichen Anschauung gaben sich z. B. Cagniard de Latour, Turpin (*Annal. Chim. et Phys.*, 1838, B. 68, p. 210; *Compt. rend.*, 1838, II, p. 396) und R. Wagner (*Chem. Technol.*, 1863, p. 428 u. a. a. O.) hin. Auch H. Karsten theilte ähnliche Beobachtungen mit. Veranlassung zu diesem Irrtum mag gegeben haben, dass der körnige Inhalt der Hefezellen sich künstlich auspressen lässt, auch wohl die Zellwandung bei Wasserzufuhr von selber platzt, und dass die gewöhnliche Bierhefe sehr häufig mit bakterienartigen Organismen verunreinigt ist, die ungefähr die Grösse solcher Körner besitzen mögen. Auch Mitscherlich huldigte einer ähnlichen Anschauung (*Poggend. Annal.*, B. 135, p. 100). Vgl. auch Reess: *Annal. d. Önologie*, B. II, p. 123, u. *Botan. Untersuch.*, etc., 1880, p. 18.

**) Ebenso Schlossberger (*Ann. Chem. Pharm.*, Bd. 51, p. 197). Ähnlich H. Hoffmann: *Botan. Zeitung*, 1860, p. 42 u. 45.

beeinflusst wird und z. B. derselbe bei Stickstoffzufuhr in der Form von Ammoniaksalzen gar nicht unwesentlich in seiner Ausbildung beeinträchtigt wird.

Als Vertreter einer ganz eigentümlichen Anschauung ist hier auch noch H. Karsten zu nennen, und für dieselbe Ansicht ist auch sein Schüler Harz aufwärmste eingetreten*). Diese Forscher betrachteten nämlich die Hefepilze, wie alle Mycodermen und Bakterien, nicht als Organismen eigener Art, sondern als Formen, welche aus verschiedenen höheren unter eigentümlichen Lebensbedingungen hervorzusprossen, nicht aber umgekehrt in diese sich zurückzuverwandeln vermögen. Diese Anschauung, welche nach den damaligen Methoden schwer zu erweisen und zu widerlegen ist (weil höhere Formen schwierig ohne Verunreinigung durch niedrigere zu erziehen sind), können wir heute als morphologisch beseitigt ansehen; allein sie ist nicht so völlig aus der Luft gegriffen, als man gewöhnlich glaubt, da sie den Kern einer durchaus feststehenden physiologischen Wahrheit in sich enthält, von welcher später die Rede sein wird. Abgeänderte Lebensbedingungen, namentlich Sauerstoffmangel, sind es allerdings, welche verschiedenartige, namentlich auch den Schimmelpilzen angehörige Organismen veranlassen, gärungserregende Formen zu bilden. Für den speziellen hier behandelten Fall können wir aber die Karsten'sche Hypothese als experimentell durchaus ungenügend begründet mit Stillschweigen übergehen.

Eine endgültige Entscheidung in dieser wie auch in anderen morphologischen Fragen wurde erst durch die wichtige Arbeit aus De Bary's Schule von Reess und sodann namentlich durch die des unermüdlichen dänischen Forschers E. Hansen über die Hefepilze gebracht — Arbeiten, auf deren Inhalt wir in beinahe allem Positiven, was wir in diesem Abschnitte mitzuteilen haben werden, angewiesen sind**).

Reess zeigte, dass es eine grosse Anzahl Alkoholgärungspilze***) giebt, für welche er den Meyen'schen Gattungsnamen *Saccharomyces* adoptiert, während derselbe bis dahin noch mit einer Reihe von Synonymen, als da sind: *Torula* (Persoon), *Cryptococcus* (Kützing), *Hormiscium* etc., konkurrierte.

Die organisierten Elemente der Bierhefe bestehen nach ihm wesentlich nur aus einer Spezies, für welche der Name *Saccharomyces cerevisiae* beibehalten wird. Die gleiche Hefepilzart ist für die Gärung der meisten Branntweinmaischen charakteristisch. Oberhefe und Unterhefe gelten bei ihm nur als durch ausdauernde Kultur in einer bestimmten Richtung gezüchtete Spielarten einer und derselben Form. Die erstere habe sich den Verhältnissen, welche bei der Obergärung gewählt zu werden pflegen, also namentlich einer ziemlich hohen Temperatur, 12—24° C. angepasst, treibe unter diesen Verhältnissen zahlreichere Sprossverbände; und das längere An-

*) Harz: Untersuchungen über die Alkohol- und Milchsäuregärung. 1871. Etwas Ähnliches ist auch schon von Meyen behauptet worden.

**) Botan. Untersuchung über die Alkoholgärungspilze, Leipzig 1870, und einige Aufsätze d. Annalen d. Önologie, Bd. II.

***) In dieser Richtung können mehrere Bemerkungen als Vorstufen zu der Reess'schen Entdeckung gelten, so die von Béchamp (Compt. rend., T. 58, p. 112; T. 59, p. 626). Auch Pasteur hat den später nach ihm benannten Gärungspilz verschiedentlich erwähnt und als eine Varietät der Weinhefe bezeichnet.

einanderhaften dieser Verbände ist auch nach Reess die Ursache dafür, dass die Zellkomplexe den aufsteigenden Kohlensäureblasen Widerstände genug entgegensetzen*), um in der Flüssigkeit emporzusteigen und eine dichte Decke auf derselben zu bilden — eine Erscheinung, die eben zur Bezeichnung als Oberhefe Veranlassung gegeben hat.

Die organisierten Elemente der Unterhefe seien desselben Ursprungs, allein durch unzählige Generationen gezwungen worden, bei niedriger Temperatur, 5—10° C., sich fortzupflanzen. Denselben sei eine langsamere Vegetation und damit im Zusammenhange ein kürzeres Aneinanderhaften der Sprossungen eigentümlich, wodurch ihnen die Fähigkeit, in der Flüssigkeit in grösserer Anzahl emporgehoben zu werden, abgehe. (Man trifft die Zellen der Unterhefe meist nur einzeln oder paarig an, indem eine Tochterzelle erst dann zur Sprossung gelangt, wenn sie sich ihrerseits von dieser Mutterzelle losgelöst hat.) Ausserdem haben die Zellen der Unterhefe mehr eine kugelige, die der Oberhefe mehr eine längliche Gestalt.

Reess zeigte, dass, wenn man die Zellen der Unterhefe bei höherer Temperatur kultiviere, auch bei diesen die Sprossverbände beständiger werden, so dass ein Teil in der Flüssigkeit emporgehoben wird und in noch vollkommenerem Grade auch umgekehrt. Allein in der kurzen Reihenfolge von Generationen, die man auf diese Weise zu überwachen vermag, tritt doch nur eine unvollkommene Anpassung an die ungewohnten Verhältnisse ein, so dass die Spielarten der Unterhefe und der Oberhefe doch stets noch etwas mehr zu der bis dahin üblichen Art der Sprossung neigen und mithin noch nicht endgültig als blosse Spielarten aufzufassen sind.

Man sieht also, die Reess'sche Anschauung schloss etwas Hypothetisches in sich ein — wie er dies auch selber zugesteht. Der empirische Nachweis, dass beide Formen von einer gemeinschaftlichen stammen und nur durch die unbewusst ausgeübte Züchtung der Gärungstechniker von dieser abgezweigt seien, ist nicht erbracht. Nur die Ähnlichkeit in der Form ist gross, und die Veränderung durch eine jahrhundertlang konsequent ausgeübte Züchtung a priori wahrscheinlich.

Wenn die Hefe unserer gewöhnlichen, nach bayerischer oder nach einer verwandten Brauart gebrauten, Biere und ebenso mancher Getreidebranntweinmaischen nach Reess aus einem in der Regel einheitlichen Hefeorganismus gebildet wird, so ist dies schon nach diesen älteren Versuchen für die Hefe unserer Weine, Obstweine und überhaupt aller ohne Hefezusatz vergärenden Flüssigkeiten, wie z. B. der bel-



Fig. 3. *Saccharomyces cerevisiae*. Unterhefe. Vergr. 400.

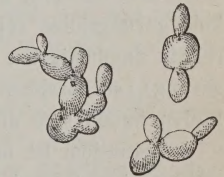


Fig. 4. *Saccharomyces cerevisiae*. Unterhefe in obergäriger Kultur. Vergr. 400.



Fig. 5. *Sacch. cerevisiae*. Oberhefe ruhend. Vergr. 400.

*) Ein Umstand, auf den auch schon früher ein hervorragender Biertechniker hingewiesen hatte. (Dingler, polyt. Journ., Bd. 152, p. 214.)

gischen Biere, fast niemals der Fall. Und selbst, wo der Zusatz der Hefe nicht mit gehöriger Auswahl geschieht, wie bei den Branntweinmaischen, da findet man bei der mikroskopischen Untersuchung, wo nicht eine grössere Anzahl von Arten der Alkoholpilze, doch fast immer neben den Alkoholpilzen noch fremde niedrige Organismen, die in einer anderen Richtung wirken.

Ein solches Verhalten erscheint auch durchaus naturgemäss. Wenn wir uns eine grössere Anzahl von Organismen vorhanden denken, welche die alkoholische Gärung zu bewirken im stande sind, und ausserdem noch andersartige niedrige Organismen, welche auf zuckerhaltigen Gärungsgemischen zu gedeihen vermögen, und wenn wir unsere Würzen, Moste und Maischen den Keimen derselben darbieten, so wird, wie überall unter solchen Verhältnissen, zwischen diesen Organismen ein Kampf ums Dasein entbrennen, in welchem allerdings für die meisten Flüssigkeiten die Alkoholpilze den Sieg davontragen. Nur bei den Bierwürzen und Branntweinmaischen ist die Gefahr allerdings sehr gross, dass von Anfang an oder in gewissen Stadien der Vergärung andere Organismen, namentlich die, welche wir später als die Milchsäurebildung bedingend kennen lernen werden, sich sehr breit machen oder vielleicht gar überwiegen.

Solchen unangenehmen Erfahrungen gegenüber hat man sich in der Praxis nun unbewusst teilweise so geholfen, dass man äusserlich die für das Gedeihen der Alkoholgärungspilze relativ günstigsten, für das Gedeihen der übrigen Organismen die relativ ungünstigsten Verhältnisse hergestellt hat, so: niedrige Temperatur (Bieruntergärung), Luftabschluss (spätere Stadien der Bier- und der Weingärung); und in manchen Fällen haben sich diese Vorsichtsmaassregeln in der That als genügend erwiesen.

Ausserdem ist man dann noch durch die Erfahrung dazu geführt worden, den gewünschten Organismen durch Aussaat in grossen Mengen von vornherein das Übergewicht zu verschaffen, wo ihnen dann natürlich die Besiegung der Konkurrenten leichter werden musste. Dabei wird freilich manchmal noch ein Nebenzweck verfolgt, nämlich die Vergärung in gewissen kurzen Zeiträumen sich vollziehen zu lassen, was bekanntlich besonders bei manchen Verhältnissen der Erhebung der Branntweinsteuer von Wichtigkeit ist. So geschieht es regelmässig bei dem „Stellen“ der gekochten Bierwürze und der wenigstens auf einige 60° erhitzt gewesenen und dadurch gleichfalls sterilisierten Branntweinmaische, während die Weingärung der sogenannten spontanen Aussaat von Hefe überlassen werden konnte.

Die Methode, eine Flüssigkeit der spontanen Gärung zu überlassen, verhält sich mithin zu der Methode des Hefezusatzes genau wie die gewöhnliche Wiesenkultur, wo man die Wiesengräser nach dem Resultate des Kampfes ums Dasein sich ausbreiten lässt und nur durch Herstellung geeigneter Vegetationsbedingungen für das Überwiegen der gewünschten Arten sorgt, zu einer Kultur mit Aussaat bestimmter Grasarten sich verhält. Und gerade wie diese letztere Methode um so entbehrlicher sein wird, je mehr Boden und klimatische Verhältnisse schon das Überwiegen gewünschter Arten begünstigen, gerade so hat es sich für die Weingärung als überflüssig erwiesen, Aussaaten von Hefesorten aus gut vergorenen Weinen zu machen, während man beim Biere zu solchen Maassregeln fast überall hingedrängt worden ist. In dieser Richtung wirkt, wie wir später sehen werden, die saure Reaktion des

Traubensaftes, wodurch die meisten Bakterien von vornherein ausgeschlossen sind. Dazu kommt freilich, dass schon zufällig aber regelmässig eine Aussaat von Hefekernen auf den Traubenschalen vorhanden ist.

So hat bei der relativ sorgfältigen Hefezüchtung, wie sie bei der Bierbrauerei nach bayerischem Verfahren schon lange üblich war, nach den Reess'schen Anschauungen eine einzige Pilzart sich des Terrains fast ausschliesslich bemächtigt. — Wir werden allerdings später sehen, dass genauere Untersuchungen auch diese Einheit aufzulösen wussten. — Bei der geringen Sorgfalt, welche lange Zeit auf die Auswahl der Branntweinhefe verwendet wurde, ist dort das Resultat entsprechend unvollkommener geblieben, und wir treffen in derselben fast ohne Ausnahme neben dem gewöhnlichen Bierhefepilz in der obergärigen Varietät Organismen, welche zur Alkoholgärung in keinerlei Beziehung stehen, also sehr Ungleichartiges an. Der Weinmost endlich ist, wie gesagt, wegen seines natürlichen Säuregehalts der Ernährung von nicht zur Gruppe der Alkoholpilze gehörigen Organismen so ungünstig, dass für diesen Verunreinigungen in so hohem Maassstabe allerdings sehr selten sind. Allein hier greifen, je nach den Zufälligkeiten, welche die Weinberge und die Gärungsräume darbieten, je nach den Eigenschaften, welche die verschiedenen Moste von vornherein oder in gewissen Gärungsstadien besitzen, bald diese bald jene *Saccharomyces*-arten, deren es eine ganze Reihe giebt, überwiegend Platz, und das ist es, was Reess durch seine mikroskopischen Untersuchungen feststellen konnte und was sich auch späterhin grösstenteils bewährt hat.

Während die charakteristische Pilzart, welche die Gärung unserer gewöhnlichen Biere bedingt, *Saccharomyces cerevisiae* etwa, 8—9 mic.*) im grössten Durchmesser besitzt und etwas länglich geformte Zellen zeigt, deren Aussehen in der Unter- und Oberhefeform am besten durch Fig. 3—5 (Seite 87) vorgestellt wird, sind für die in der Weinhefe aufgefundenen Alkoholgärungspilze folgende Angaben über Grösse und Aussehen zu machen.

*Saccharomyces ellipsoideus***) ist, wie der Name sagt, elliptisch geformt, aber hat doch die Gestalt einer nur wenig von der Kreisform abweichenden Ellipse. Sein Längsdurchmesser beträgt in ausgewachsenem Zustand 6 mic. Bei lebhafter Vegetation treibt er sehr zahlreiche Sprossverbände, die längere Zeit bestehen bleiben, so dass er unter solchen Umständen in der Form von obergäriger Hefe auftreten kann, während er sonst lediglich am Boden der Gärungsflüssigkeit fortvegetiert. Vergl. Fig. 6 diesen Pilz in langsamer Vermehrung begriffen, teilweise mit zahlreichen Sprossverbänden. Auch das Bestehen von dieser Hefeart ist durch die späteren Untersuchungen, die nach verbesserten Methoden angestellt wurden, im wesentlichen bestätigt.

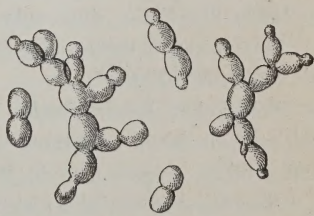


Fig. 6. *Saccharomyces ellipsoideus* sprossend. Vergr. 600.

*) Mic. = Mikromillimeter = 0,001 mm.

**) Die Beschreibung der Weinhefepilze von Reess: Annal. d. Önologie, II, p. 145, von dort auch die Abbildungen entnommen.

Von Wichtigkeit ist dann weiter die Beobachtung des Verhaltens von *Saccharomyces ellipsoideus* in andersartigen Gärungsflüssigkeiten als Weinmost, in denen sonst durch andere Spezies die Gärung unterhalten wird, weil hierdurch erst die Schlüsse über spezifische Verschiedenheit der einzelnen Saccharomycesarten eine festere Haltung gewinnen. Reess konstatierte, dass *S. ellipsoideus*, in Bierwürze gebracht, deren Vergärung vollzog, ohne seine charakteristischen Eigenschaften — und dies scheint durch viele Generationen hindurch zu gelten — einzubüssen, und dass *S. cerevisiae* in Traubenmost sich ebenso verhielt.

Saccharomyces ellipsoideus ist einer der für die Weingärung gewöhnlichsten Alkoholpilzarten, oft ausschliesslich der Träger derselben. Neben ihm behauptet sich hauptsächlich noch eine andere Saccharomycesart mit dem Speziesnamen *apiculatus* an dieser Gärung. Während z. B. bei Weissweinen häufig *Saccharomyces ellipsoideus* für den Beginn der Gärung überwiegt, bemächtigt sich *Sacch. apiculatus* meistens in der Hauptgärung des ganzen Terrains, der ersteren Form dann wieder die Nachgärung überlassend. Doch kommen hier natürlich für verschiedene Jahrgänge, Gegenden und Sorten grosse Verschiedenheiten vor.

Saccharomyces apiculatus ist in dem Längsdurchmesser nicht sehr von *S. ellipsoideus* verschieden, 6—8 mic., hat indessen eine ganz spezifische Gestaltung, nämlich wenigstens in erwachsenem Zustande beiläufig die Form einer Citrone, mit zwei Ausstülpungen in der Richtung der Längsachse versehen. Sprossverbände bleiben bei *Sacch. apiculatus* selten erhalten, so dass er auch bei durch höhere Temperatur gesteigerter Vegetation niemals als Oberhefe in der Flüssigkeit emporsteigt, sondern unter allen Bedingungen eine Untergärung veranlasst. (Vgl. Fig. 7.) — Charakteristisch ist noch, wie

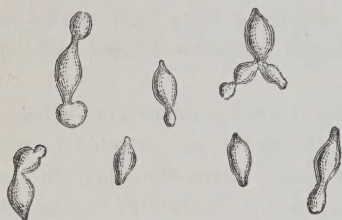


Fig. 7. *Sacch. apiculatus* (nach Reess).
Vergr. 600.

ebenfalls schon aus der Untersuchung von Reess hervorgeht, die grosse Vakuole in der Mitte der Zelle, dem sehr homogenen Protoplasma eingelagert.

Hansen gab später eine Beschreibung des Kreislaufes des *Saccharomyces apiculatus* in der Natur*).

Beide eben beschriebenen Formen finden sich auch schon den Trauben anhaftend und an deren verletzten Stellen oft lebhaft vegetierend, so dass über den Ursprung dieser Organismen in Weinmost kein Zweifel bestehen kann.

Sacchar. apiculatus ist bei späteren Untersuchungen physiologisch dadurch interessant geworden, dass er wohl die gewöhnlichen Glycosen, nicht aber den Rohrzucker zu vergären vermag, eine Thatsache, die offenbar so zu erklären ist, dass ihm das invertierende Enzym, mit welchem die anderen Saccharomyceten ihre Nahrung vorbereiten, abgeht. Auch das leichte Absterben dieser Form durch Austrocknen ist von Interesse. Was das natürliche Vorkommen des *S. apiculatus* anlangt, so wurde er auch von Hansen namentlich auf reifem Obst angetroffen**).

*) Meddelelser fra Carlsberg Laboratoriet, I, p. 293.

**) Botan. Centralbl. 1885.

Weiter beteiligt sich bei der Weingärung noch in selteneren Fällen eine Form, welche Reess zu Ehren Pasteur's mit dem Namen *Saccharomyces Pastorianus* belegt hat. Dieselbe scheint bei der Nachgärung zuckerreicher Weine (auch von Obstweinen) den besten Boden zu finden, ist sehr viel länger als alle bisher besprochenen Formen, nicht selten bis 20 mic. und von einer keulenförmigen Gestalt, die am besten durch Fig. 8 versinnbildlicht wird.



Fig. 8. Sacch. Pastorianus.
Vergr. 400.

Spätere Untersuchungen haben ergeben, dass in Bezug auf die praktische Brauchbarkeit recht verschiedene Formen die zuerst von Reess festgestellte Gestalt besitzen, welche dann vorläufig als *S. Pastorianus* I, II, III, wobei die römischen Ziffern verschiedene Arten bedeuten, bezeichnet wurden. Auch nehmen andere Hefesorten unter besonderen Umständen (Zutritt von viel Sauerstoff) gelegentlich eine ähnliche Gestalt an, so dass in Bezug auf deren Erkennung grosse Vorsicht in acht zu nehmen ist. In gleicher Weise wurden später auch andere Arten, z. B. *S. ellipsoideus*, in verschiedenen Arten durch die mikroskopische Analyse zerlegt.

Andere von Reess angegebene Saccharomycesformen wurden durch die späteren Untersuchungen nur als gelegentliche Formen anderer schon beschriebenen Arten erkannt und mussten daher als selbständige Spezies wieder fallen gelassen werden.

Weiter muss hier schon bemerkt werden, dass auch eine lange bekannte Form, die nichts mit der Alkoholgärung zu thun hat, sondern im Gegenteil den Alkohol im wesentlichen zu Wasser und Kohlensäure verbrennt, aber auch auf anderen organischen Substanzen gedeiht, nämlich der Weinkahm (franz. fleur du vin, holl. koenen) bis dahin wissenschaftlich als *Mycoderma vini* bezeichnet, von Reess zu den Saccharomycesarten gestellt und durch die späteren Untersuchungen als solche bestätigt wurde. Es geschah dies hauptsächlich wegen des Nachweises der Erzeugung der gleichen Reproduktionsorgane, wie sie für die gärungserregenden Saccharomycesarten charakteristisch sind, und von denen bald die Rede sein soll.

Wenn wir also eben das Zugeständnis machen mussten, dass verschiedene — zunächst freilich sehr nahe verwandte — Pilzarten die alkoholische Gärung unter gewissen Umständen einzuleiten befähigt sind, so müssen wir hier noch den Satz hinzufügen, dass morphologisch zur Gruppe der Alkoholgärungspilze gehörigen Formen in einzelnen Fällen diese Befähigung abgehen kann, so dass sich morphologische und physiologische Charaktere keineswegs völlig decken. Dieses befremdende Verhalten wird uns aber eher als naturgemäss erscheinen, wenn wir erst die Erfahrung gemacht haben werden, dass gewisse Organismen sogar nur unter bestimmten Verhältnissen den Zucker nach der Gleichung der alkoholischen Gärung zu zerspalten vermögen, während sie unter andern Bedingungen hierzu nicht befähigt sind.

Im übrigen sehen wir, dass wir es mit einer ganzen Reihe von Pilzarten zu thun haben, welche die alkoholische Gärung durchzuführen im stande sind. Ob sie wirklich hierzu befähigt sind, hierfür wurde, wie wir schon angedeutet haben, nicht ihr einfaches Vorkommen in den abgeschiedenen Hefemassen für entscheidend gehalten, sondern diese Frage wurde durch eigene Kulturen der möglichst rein gezogenen Formen in zuckerhaltigen Lösungen entschieden oder zu entscheiden versucht. Ob es sich bei einer Form um die morphologische Verwandtschaft mit einer

andern handelte, diese Frage wurde entschieden durch die Beobachtung des Gestaltwechsels unter verschiedenen Ernährungsbedingungen, und so kam eben Reess zu dem theoretisch keineswegs vorherzusehenden Resultate, dass physiologische Funktionen und morphologische Charaktere der fraglichen Bildungen sich keineswegs völlig decken.

Wir kommen nun auf die von Reess entdeckte charakteristische Fruktifikation der Saccharomycesarten zu reden, durch die es erst möglich war, einerseits diese Arten zu einer wohl arrondierten Gruppe des botanischen Systems zusammenzufassen, andererseits dieselben auf das bestimmteste von anderen Pilzarten, denen sie früher häufig als eine gelegentliche Generationsfolge zugerechnet worden waren, zu unterscheiden. Die blosse Beobachtung des Auftretens der Saccharomycesarten in rein vegetativen Sprossungen ohne charakteristische Fruktifikation, wie es seit lange beobachtet worden war, wäre vermutlich gar nicht genügend gewesen, dies zu erreichen; denn auch andere sonst myceltreibende Pilze besitzen nachgewiesenermaßen die Fähigkeit, gelegentlich unter eigentümlichen Ernährungsbedingungen hefeartig zu sprossen.

Die Methode, deren sich unser Gewährsmann für diese Untersuchungen bediente, war zwar nicht die Reinkultur, die zur Zeit jener Untersuchungen noch nicht mit der nötigen Sicherheit gehandhabt wurde, sondern sie bestand in der Beobachtung womöglich *derselben Individuen*, an denen die Veränderung, welche sie unter verschiedenen äusseren Ernährungsbedingungen zeigten, festgestellt wurde.

Verfolgen wir den beobachteten Entwicklungsgang zunächst für die best studierte Saccharomycesart, für *S. cerevisiae*. Wenn man diesen Pilz immer in Zuckerlösungen, denen auch sonst noch einige geeigneten Nährstoffe beigemischt sein müssen, kultiviert, so tritt niemals etwas anderes ein, als dass eine jede erwachsene Zelle Sprossungen treibt, die nach und nach zu Tochterzellen werden, die sich ihrerseits früher oder später von der Mutterzelle ablösen. Dadurch war ein Generationswechsel aber keineswegs ausgeschlossen. Bei den meisten Pilzen ist ja derselbe von den äusseren, zumal von den Ernährungsbedingungen abhängig, und ein Schimmelpilz, der unter gewissen Bedingungen nur Mycelien auf Mycelien treibt, wird unter anderen zur Fruktifikation veranlasst. Ähnliches war für den Hefepilz, wenn er überhaupt neben der Fähigkeit, sich durch vegetative Sprossungen fortzupflanzen, eine Fruktifikationsform besass, zu erwarten.

Es waren hierbei drei Möglichkeiten vorhanden. Entweder gelang es nicht, den Hefepilz zum Verlassen der gewöhnlichen Art sich fortzupflanzen zu bringen, oder der konstatierte Generationswechsel lief auf eine anderweitig bekannte Form hinaus, wie derartige vermeintliche Entdeckungen oftmals proklamiert worden sind; oder aber es gelang, für den Hefepilz eine neue spezifische Fruktifikation zu entdecken und mit Hilfe derselben den Formenkreis der Saccharomycesarten zu begrenzen. — Das letztere war das Resultat der Reess'schen Versuche.

Als Substrat für diese Kulturversuche wurden Schnitte von allerlei Wurzelgewächsen gewählt. Mohrrüben, Kartoffeln und dgl. leisteten gute Dienste. Auf den Abschnitten dieser Feldfrüchte wurden dünne Schichten breiiger Bierhefe aufgetragen und jene dann meistens im feuchten Raume sich selber überlassen. Man

kann auch angefeuchteten Gips unter gewissen Vorsichtsmaassregeln hierzu benutzen, wovon in den späteren Untersuchungen über diesen Gegenstand ein sehr ausgehnter Gebrauch gemacht wurde, und Brefeld hat gezeigt, dass die Kulturen unter gewissen Umständen auch auf Objektträgern gelingen. Zunächst beginnen nun die Hefezellen bei dieser ungewohnten Ernährungsweise, die sich hauptsächlich durch relative Zuckerarmut*) und erleichterten Zutritt von Sauerstoff charakterisieren lässt, in der gewohnten Weise, nur langsamer ihre Sprossungen zu treiben. Die sprossenden Zellen zeigen meist ein homogenes Plasma, mit höchstens einer centralen Vakuole. Die Sprossungen haften so kurz aneinander, dass mehr als zweizellige Gruppen selten sichtbar sind. Der Hefefleck auf dem Wurzelschnitt wächst infolge dieser Vegetationen etwas nach aussen, in zierlichen Ausbuchtungen fortschreitend, so dass die Breite des Anwachsstreifens in zwei Tagen ungefähr 1 mm beträgt.

Nach dem vierten Tage tritt nun aber nach Reess (nach andern Autoren erst später**) diese gewöhnliche Art sich fortzupflanzen ganz in den Hintergrund. Man erblickt dann in der Kultur ältere, fast inhaltsleere, Zellen, welche bald absterben und zusammenfallen, und jüngere mit körnigem und vakuolenreichem Protoplasma erfüllt. Die letzteren besitzen zum kleineren Teile noch Anfänge von Sprossungen. — Diese jüngeren Zellen sind es nun, in denen sich z. T. bald eine eigentümliche Veränderung manifestiert. Am fünften Tage der Kultur gewöhnlich verschwinden aus dem dichtkörnigen, gleichsam schaumigen, Protoplasma dieser Zellen die Vakuolen (durch Zerteilung) vollständig; dafür treten in ihnen 2—4 rundliche Inseln (Kerne oder Konzentrationsstellen für das körnige Protoplasma) auf, welche sich rasch mit einer dünnen Membran umgeben. Hiermit sind also die Anfänge einer Zellneubildung konstatiert. — Der Prozess vollendet sich nun bald, indem sich die Membranen der Tochterzellen verdicken und schliesslich aneinander abplatten, während die der Mutterzelle mehr und mehr resorbiert wird. Gleichzeitig hat während des Stattfindens dieses Fruktifikationsprozesses die Dimension der Mutterzelle sich nicht unbeträchtlich vergrössert von 8—9 mic. auf 11—14. Die eingelagerten Tochterzellen haben dann die Grösse von etwa 4 mic. (Vgl. Fig. 9 a—e.)

So war also von Reess bei einem Hefepilz der Abschluss des Formenkreises durch freie Zellbildung, dessen Fruktifikation oder, wenn man will, dessen Propagation***) beobachtet worden. Wenn

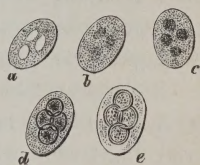


Fig. 9. *Sacch. cerevisiae*. Sporenbildung, e reife Sporen. Vergr. 750.



Fig. 10. Auskeimende Sporentriade. Vergr. 400.

*) Die Armut an gewissen, die Massenvegetation begünstigenden, Nährstoffen ist der Fruktifikation durch das ganze Pflanzenreich hindurch günstig.

**) Vgl. E. Schuhmacher: Sitzungsber. d. Wiener Akad., B. 70, 1874, Juni. Man hat, wie wir gleich sehen werden, später gefunden, dass auch dieser Prozess von gewissen Temperaturbedingungen abhängig ist.

***) Bei den Schimmelpilzen, welche zu verschiedenen Arten von Sporenbildung befähigt sind, wie *Aspergillus glaucus*, *Mucor stolonifer*, unterscheidet man neben Fruktifikation eine einfachere Art der Sporenbildung, sog. Propagation.

man nun die Sporen, denn das sind die eingelagerten Tochterzellen, wieder in eine Flüssigkeit bringt, die zur alkoholischen Gärung tauglich ist, so sieht man dieselben auskeimen und durch Sprossung neue Glieder bilden, die an Grösse und Aussehen durchaus den ursprünglichen Zellen der Bierhefe gleichen. (Vgl. Fig. 10.) Der Kreislauf der Formen ist also vollendet.

Was nun die Sicherheit dieses Nachweises betrifft, so ist einmal hervorzuheben, dass schon die Rückkehr zur ursprünglichen Form hierfür einen ausreichenden Beleg giebt. Dann ist es aber auch Reess gelungen, in einzelnen Fällen an Zellindividuen das Fortschreiten der Entwicklung in dem behaupteten Sinn zu beobachten, ferner die Fruktifikation an einer Zelle nachzuweisen, die noch im gewöhnlichen Sprossverbande mit andern nicht fruktifizierenden Zellen sich befand, und ebenso umgekehrt Sporen keimen und Hefesprossungen austreiben zu sehen, welche sich noch teilweise innerhalb der Mutterzelle befanden, in der sie durch freie Zellbildung Entstehung genommen hatten. Endlich kann die Gleichartigkeit der Beobachtungen über die Fruktifikation der verschiedenen *Saccharomyces*arten als Beweismittel in derselben Richtung dienen. Ehe wir jedoch zu den Beobachtungen an diesen anderen Arten übergehen, wollen wir unsere Mitteilungen über Natur und Entwicklung des Hauptrepräsentanten, des damals sog. *Saccharomyces cerevisiae*, vervollständigen.

Die beobachtete Fruktifikationsform des Bierhefepilzes wurde durch Reess als Askosporenentwicklung, wie sie auch sonst bei Pilzen (freilich selten in so einfacher Form) angetroffen wird, aufgefasst. Eine gewöhnliche jugendkräftige Hefezelle kann sich, wenn wir diese Ausdrucksweise adoptieren, zur Askusfrucht (Schlauchfrucht) entwickeln und Askosporen (Schlauchsporen) in sich erzeugen. Später ist diese Anschauung*) der Diskussion unterzogen worden, und wir thun vielleicht am besten, die in Rede stehenden Formen rein objektiv als Endosporen zu bezeichnen, obwohl die jetzt herrschende Richtung in der Botanik die Reess'sche Deutung acceptiert und die Hefepilze geradezu bei den Askomyceten untergebracht hat.

Die drei- oder viergliedrigen Sporenkomplexe bleiben auch nach Zerfall der Zellhaut der sie einschliessenden Mutterzelle gewöhnlich noch in derselben Weise aneinander gelagert, bis sie, in ein passendes Medium gebracht, zu keimen beginnen. Sie scheinen, analog dem Verhalten anderer Pilzsporen, trocken aufbewahrt, lange Zeit**) ihre Keimfähigkeit zu bewahren und etwas schwieriger als gewöhnliche Hefezellen Sprossungen zu treiben, auch entschieden des Sauerstoffs zu diesem Vorgehange bedürftig zu sein.

Rees hat sich dann weiter die Frage vorgelegt, ob wohl der Bierhefepilz unter den gewöhnlichen Umständen seiner Behandlung zu der beobachteten Fruktifikation gelange, und erteilt eine Antwort in dem Sinne, dass diese Erscheinung an der Hefe, welche, kaum erzeugt, wieder zur Erregung einer neuen Gärung verwendet wird, nicht wohl auftreten könne, wohl aber gelegentlich an beiseite geworfener Hefe,

*) Brefeld (Entwicklung der Schimmelpilze I, und Flora 1873, Nr. 25).

**) Bei Bakteriensporen ist durch Duclaux die Zeit von zwanzig Jahren erwiesen worden und dasselbe ergibt sich durch die Thatsache der lange verschleppten Infektion von ansteckenden Krankheiten.

welche zufällig vor Überwucherung durch andere Organismen und vor Fäulnis bewahrt geblieben ist. Er hatte nämlich auch an Hefemasse, welche in feuchtem Zustande und mit Luft in Berührung an schimmelfreien Orten aufbewahrt war, die Sporenbildung beobachtet.

Die Schlussfolgerung von Reess bezüglich der botanischen Natur des Bierhefepilzes fassen wir am besten in folgenden seiner eigenen Worte zusammen*). Der Entwicklungsgang des Pilzes darf wohl „als mit der bekannten, keineswegs bloss für gärungsfähige Medien charakteristischen Sprossung und der beschriebenen Endosporenbildung abgeschlossen betrachtet werden; ein eigentliches Mycelium**) fehlt dann diesem Pilze, ebenso Conidien, während seine Sprossungen als nicht differenzierte, niedrigste Mitteldinge zwischen beiden gelten müssen“.

Eine ganz analoge Fruchtifikation wie für den Hauptrepräsentanten der *Saccharomyces*-arten ist nun auch schon von Reess für die meisten jener anderen Arten gefunden worden, welche die Weinhefe zusammensetzen.

Über den schon beschriebenen *Saccharomyces ellipsoideus* wurde z. B. in dieser Richtung folgendes beobachtet***):

„Bringt man kleine Proben einer Weinhefe, welche fast ganz oder überwiegend aus *S. ellipsoideus* besteht, auf ausgekochte dünne Möhrenscheiben und hält die Kultur genügend feucht und rein, so beobachtet man leicht und sicher folgendes: Zwei bis drei Tage dauern die Sprossungen der *Saccharomyces*-zellen, allmählich abnehmend, noch fort. Am dritten bis fünften Tage hört die Vegetation auf. Viele Zellen sterben dann ab, andere gehen in den Ruhezustand über (aus dem sie nach Monaten durch Zufuhr geeigneter Nahrung [Gärflüssigkeit] wieder erweckt werden können). Zahlreiche Zellen aber, die ein geringes grösser als die übrigen geworden sind, bilden durch Teilung ihres nun vakuolenlosen und körnigen protoplasmatischen Inhaltes 2—4 rundliche Tochterzellen in ihrem Innern (Fig. 11). Jede von diesen umgiebt sich mit eigener farbloser Zellhaut. Die Tochterzellen liegen bald zu 4 übers Kreuz, bald zu 3, ein Dreieck bildend, meist aber zu 2 in der Mutterzelle, deren Zellhaut entweder selbständig erhalten bleibt, oder mit den Membranen der Tochterzellen allmählich verschmilzt.

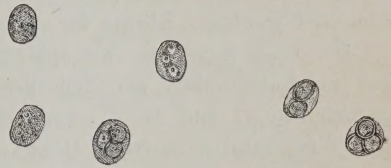


Fig. 11. *Sacch. ellipsoideus*, Sporen-entwicklung. Vergr. 400.

„Am 7. oder 8. Tage der Kultur pflegen die ersten so gebildeten Tochterzellen

*) Vgl. Annalen d. Önologie, Bd. II, p. 130.

**) Diese Behauptung erlitt nur durch die späteren Hansen'schen Untersuchungen eine kleine Einschränkung, insofern die meisten Hefepilze unter gewissen Vegetationsbedingungen (Zutritt von viel Luft) sehr lang gereckte und schon beinahe mycelartige Sprossungen an der Oberfläche der Flüssigkeit bilden können und indem andererseits spezielle, gerade nach ihrer Endosporenbildung zu urteilen sicher zu den *Saccharomyceten* zugehörige Formen, wie *S. Ludwigi*, beim Auskeimen zunächst nur wahres Mycel mit den charakteristischen Querteilungen entwickelt. Der Hauptsache nach hatte aber Reess auch hier schon das Richtige getroffen.

***)) Vgl. Annalen d. Önologie, B. II, p. 147.

fertig zu sein. Der gleiche Zellenbildungsprozess dauert dann im Innern anderer Zellen des *S. ellipsoideus* oft noch 8—10 Tage fort. In gärungsfähige Lösung gebracht, entwickeln sich diese im Innern der Mutterzelle entstandenen Tochterzellen weiter, indem sie wieder Sprossungen austreiben (Fig. 12). Aus diesen erwächst in kurzer Zeit die gewöhnliche Vegetation des *S. ellipsoideus* wieder*).



Fig. 12. *Saccharomyces ellipsoideus*.
Keimende Sporenkomplexe.
Vergr. 400.

Auch auf andere Weise gelang es noch, den in Rede stehenden Weinhefepilz zur Sporenbildung zu veranlassen, wodurch wieder ein helles Licht auf die physiologischen Bedingungen der rein vegetativen Sprossung und andererseits der Reproduktion geworfen wird. Wenn man nämlich eine mit den nö-

tigen Zusätzen versehene Zuckerlösung, in welcher der Pilz sich nur durch gewöhnliche Sprossung fortpflanzt, nach und nach durch täglichen Wasserzusatz verdünnt, so geschieht die Sprossung immer langsamer und langsamer und hört endlich für die meisten Zellen auf. Bei einzelnen Zellen, die sich in einem hierzu besonders geeigneten Zustande befinden, erfolgt dann die Sporenbildung. Also auch hier befördert Mangel an stickstoffreicher organischer Nahrung die Fruktifikation.

Auch für *Saccharomyces apiculatus* ist eine analoge Sporenbildung später beobachtet worden. Ebenso für *Saccharomyces Pastorianus* u. a.

Die Temperatur hat, wie spätere Untersuchungen lehrten, einen gewissen Einfluss auf Entwicklung der Endosporen. Bei *Saccharomyces cerevisiae* gelingt sie nur zwischen 11 und 37° C., am raschesten bei 30°. Bei anderen Arten sind alle diese Temperaturen niedriger (Hansen: Versuche auf Gipsblöcken).

Die Endosporen sind wie alle Dauerorgane unempfindlicher gegen höhere Temperaturen und können ohne Schaden 10° höher erhitzt werden wie die vegetativen Zellen der gleichen Pflanze.

Die Bedingungen des neuen Auskeimens aller dieser Sporen sind dieselben wie beim Bierhefepilz, Feuchtigkeit und gewisse Temperaturen. Zucker ist dazu anfangs nicht erforderlich, wie denn die Keimung aller Sporen wie die der komplizierter gebauten Samen der höheren Gewächse zunächst auf Kosten einer Reservenernährung vor sich geht. Erst später ist dann für die weitere Sprossung eine zuckerhaltige Gärungsflüssigkeit eine unumgängliche Voraussetzung.

Ausserdem scheint, wie schon bemerkt, für diese erste Entwicklung Luftzutritt nötig zu sein, die Hefepilze also in diesem Stadium mit Notwendigkeit eine wahre Atmung zu unterhalten. Hierauf lassen sich vielleicht z. T. die Erfolge einer Lüftung beim Beginnen der Mostgärung, wobei sich teilweise die Gärungspilze aus den an den Traubenschalen haftenden Sporen entwickeln müssen, zurückführen; teilweise erklären sich diese auf andere Weise.

Auch in Bezug auf jene andere Frage des Zusammenhangs zwischen Hefepilzen und anderen Pilzformen, besonders den Schimmelpilzen, brachte dieselbe Arbeit von

*) Über kürzeres oder längeres Aneinanderhaften der Schwestersporen vgl. Hansen: Botan. Centralbl. 1885.

Reess definitiven Aufschluss, während zuvor sehr verschiedenartige Anschauungen sich leidenschaftlich bekämpft hatten.

Es war nämlich von vielen z. T. namhaften Forschern auf Grund eingehender Arbeiten die Behauptung aufgestellt worden, die gewöhnlichen Hefepilze und die fruktifizierenden gemeinen Schimmelpilze ständen in einer nahen genetischen Beziehung, so dass beide durch einen, bei ihnen verwandten Organismen bekanntlich häufig beobachteten, Generationswechsel ineinander überzugehen im stande wären. Der Generationswechsel finde nur nicht regelmässig statt, sondern sei, wie in vielen andern Fällen, an Ernährungsbedingungen geknüpft; er sei kein periodischer, sondern ein fakultativer. Die Schimmelpilze pflanzten sich, in zuckerhaltige Flüssigkeiten untergetaucht und von dem Sauerstoff der Luft abgeschlossen, in hefeartigen Sprossungen fort, wodurch eben die Alkoholgärung einer solchen Flüssigkeit bewirkt werde.

Die in dieser Richtung sich bewegenden Arbeiten sind nun keineswegs alle in den einzelnen aufgestellten Behauptungen durch die nachfolgenden Entdeckungen widerlegt worden. Vielmehr enthalten einige derselben sehr bedeutungsvolle Wahrheiten nur mit Irrtümlichem untermischt, so dass sie erst nach dem jetzt vollzogenen Läuterungsprozess mit Nutzen besprochen werden können.

Vor allem sind hier Bail und H. Hoffmann zu nennen. Der erstere hatte Gärungsversuche mit Bierwürze unternommen*), welche frisch ausgekocht mit verschiedenen Schimmelpilzen in Berührung gebracht wurden. Er sah hefeartige Sprossungen Entstehung nehmen und die Würze zu Bier sich umwandeln. Ich bemerke schon hier vorgreifend, dass es mit dieser Beobachtung, soweit es sich um die Schimmelform *Mucor* handelt, bis zu einem gewissen Grade thatsächlich seine Richtigkeit hat, dass aber die so sich bildende Hefe keineswegs mit irgend einer der gewöhnlichen *Saccharomyces*arten identisch ist. Auch zeigt, wie wir nachher sehen werden, die alkoholische Gärung durch *Mucor*hefe sehr handgreifliche Unterschiede der gewöhnlichen Gärung gegenüber. Ob wirklich das Danziger Jopenbier, wie dies Bail behauptet, durch Schimmelpilze Entstehung nimmt, muss dagegen als sehr unwahrscheinlich gelten, da erstens seine Beobachtung, dass nach Versenkung dichter Schimmeldecken erst die Gärung sich einstelle, doch keineswegs beweisend für diesen Sachverhalt ist, und das hauptsächliche Auftreten von *Penicillium*, einer Form, für welche das Hefebildungsvermögen nach zuverlässigen Beobachtungen nicht nachgewiesen werden konnte, in jenen Decken eben nicht für die Bail'sche Deutung spricht.

Umfassendere Versuche hat dann H. Hoffmann unternommen**), von welchen die wichtigsten folgende sind. Derselbe brachte durchaus nicht in allen Fällen, aber doch in einigen „durch ein glücklich hergestelltes Verhältnis“, wie er sich aus-

*) Flora 1857, Nr. 27 u. 28; Journ. f. prakt. Chem., Bd. 101, p. 47; Verh. d. K. K. Leop.-Karol.-Akademie, Bd. 28. — Ähnliches war auch von Berkeley und von Kützing behauptet worden. Vgl. auch R. Wagner: Journ. f. prakt. Chemie, 45, p. 244.

**) Botan. Zeitung, 1860, p. 41. Andere minder wichtige Arbeiten mit ähnlichen Resultaten übergehen wir hier und verweisen nur auf Kützing: Journ. f. prakt. Chemie, 1837, Bd. 11, p. 387; R. Wagner: ebenda, Bd. 45, p. 241; Berkeley, dessen *Introd. crypt. bot.*, 1857, p. 242 u. 299, u. Trécul: *Compt. rend.*, T. 67.

drückt, — durch das Fehlschlagen der Reinkultur, wie wir heute zu vermuten berechtigt sind, Hefe dazu, Mycelien auszutreiben, also den Übergang in einen Fadenpilz zu bewerkstelligen. Ebenso erzeugte Hoffmann durch Aussaat von reinen *Penicillium*- und anderen Schimmelsporen auf Zuckerlösungen, durch häufiges Umschütteln neben neuen Schimmelbildungen auch wahre Alkoholgärung und konnte danach auch gewöhnliche sprossende Hefe in der Flüssigkeit nachweisen. Einer Vermischung des ausgesäeten Materials, dessen Reinheit nicht einmal strenge zu erweisen war, mit andern Formen aus der Luft wurden auch hier sehr ungenügende Vorsichtsmaassregeln in den Weg gelegt.

Ob eine Schimmelspore in einer zuckerhaltigen Flüssigkeit Mycelien treibt oder durch hefeartige Sprossungen sich vermehrt, ist nach Hoffmann von der mehr oder minder schleimigen Beschaffenheit der Flüssigkeit abhängig, wofür interessante Beispiele angeführt werden — eine Beobachtung, die ihrer irrtümlichen Deutung entkleidet, noch einigen Wert besitzt und uns so viel bedeutet, als dass die Natur des Substrates für den Sieg sich wettbewerbender Organismen entscheidend ist.

Was die Fähigkeit von *Penicillium*, Gärung zu veranlassen, betrifft, so sind, wie gesagt, neuere und exakter durchgeführte Untersuchungen zu dem entgegengesetzten Resultate wie Hoffmann und Bail gekommen.

Es ist hier der passende Ort, um über die Bedeutung der *Reinkultur* einige Worte zu sagen, weil diese Methode dem Namen nach schon eine Rolle bei den eben erwähnten Versuchen, noch mehr aber bei denjenigen eines Nachfolgers spielt, der aus wenig verlässigen Versuchen die ungemessensten Folgerungen zog. Die Reinkultur ist, prinzipiell genommen, natürlich eine ganz ausgezeichnete, um nicht zu sagen *die* Methode, um Entwicklungsgeschichten von Pilzen, die Zusammengehörigkeit zweier Formen u. s. w. zu studieren, denn wenn es wirklich gelingt, Ungehöriges auszuschliessen, so haben die gemachten Beobachtungen offenbar eine unmittelbare Beweiskraft.

Anders verhält sich aber die Sache, wenn dies Ausschliessen von fremden Formen erfahrungsmässig schwierig ist und daher erst in neuester Zeit gelang. Unter diesen Umständen wird die Vertrauensseligkeit, mit welcher man die vor Augen stehenden Resultate von sog. Reinkulturen interpretiert, den grössten Schaden anrichten können. — Und so verhielt es sich lange Zeit thatsächlich. Es ist einmal sehr schwer zu beurteilen, ob in einer grösseren Anzahl von Sporen, wie man sie zur Aussaat wählt, nicht einige ungleichartige Formen sich befinden, da in diesen wie auch in manchen anderen Vegetationsstadien sehr verschiedenartige Organismen sich zum Verwechseln ähnlich sehen. — Dann kommt in Betracht, dass bei noch so grosser Sorgfalt für die Reinheit der Versuchsgefässe etc. nur schwierig die ja unter gewöhnlichen Umständen stets verunreinigte Luft ganz ausgeschlossen werden kann. Es erscheint in dieser Beziehung wirklich merkwürdig, dass manchmal dieselben Experimentatoren, welche soeben noch durch sinnreiche Versuche das Geschwängertsein der Luft mit zahlreichen Organismenkeimen nachgewiesen hatten, dann wieder ohne Ausschluss dieser Luft sog. Reinkulturen vornahmen, und nicht beachtetten, dass diese unter solchen Umständen gar keine Beweiskraft besitzen konnten.

Kurz, wir haben zu konstatieren, dass mit der sogenannten Reinkultur in den 60er Jahren die abenteuerlichsten Dinge bewiesen worden sind, und dass man danach

eine Zeit lang diese Methode als unsicher und für unerfahrene Mykologen als höchst gefährvoll verlassen, oder wenigstens deren Gebrauch sehr eingeschränkt hatte*).

Es fragt sich nun zunächst, welche andere Methode steht uns für den gleichen Zweck zur Verfügung? Wie kann man Entwicklungsgeschichten studieren, wenn man nicht die fragliche Form in möglichster Reinheit zu kultivieren versucht? — Die Antwort auf diese Frage an und für sich ist leicht, so schwierig es auch erscheint, dieser Antwort experimentell Genüge zu leisten. Die mikroskopische Beobachtung muss sich an *einzelne Individuen* halten. Man muss an bestimmt festgehaltenen Individuen die verschiedenen Formen sich ausbilden sehen, deren Zusammengehörigkeit man beweisen will. Nicht als ob das Postulat wäre, das Auge alle die manchmal doch recht langen Zeiträume, die ein Pilz zur Durchlaufung mindestens zweier verschiedenen Vegetationsstadien nötig hat, nicht vom Mikroskope zu verwenden. Dies wäre der Ausdauer unserer eifrigsten Mikroskopiker freilich etwas viel zugemutet. — Nein, es giebt zum Glück noch Mittel und Wege, die Identität von mikroskopischen Individuen auch nach Pausen der Beobachtung wieder nachzuweisen, sei es, dass man mit einer sehr kleinen Anzahl von Einzelorganismen arbeitet, sei es, dass man durch Kunstgriffe sich die Lage eines solchen auf dem Objekträger genau merkt.

Bei Befolgung derartiger Methoden, welche uns der Reinkultur bis zu einem gewissen, durch die Zweckmässigkeit bestimmten Grade überheben, hatte man nun wesentlich andere, dazu klarere, einfachere und sich in nur weit selteneren Fällen widersprechende Resultate erhalten. Kein Wunder also, dass jene Methode seiner Zeit, so lange sie thatsächlich ihrem Namen so wenig entsprach, in Misskredit kommen musste.

Wie schon angeführt worden ist, haben nun auch die nach solchen Methoden angestellten Arbeiten de Bary's und seines Schülers Reess' wenigstens bezüglich der eben ventilirten Frage nach dem Zusammenhang der *Saccharomyces*arten mit anderen bekannten Pilzformen und namentlich mit den Schimmelpilzen einen definitiven Abschluss gewährt. Es ist beinahe selbstverständlich, dass die nämlichen Untersuchungen, welche den Formenkreis der Hefepilze positiv feststellten, auch über die Nichtzugehörigkeit anderer Formen zu dem Kreislauf der Generationen dieser Organismen entscheiden mussten. Wir brauchen daher nur einfach zu erwähnen, dass in den betreffenden Untersuchungen zwar häufig, wie dies ja bei der damaligen Unmöglichkeit einer strengen Reinkultur leicht begreiflich ist, Schimmelformen in der gezüchteten Hefe auftraten, dass aber niemals eine Entwicklung dieser Formen aus Hefezellen zu erweisen war, dass z. B. niemals eine unzweifelhafte Hefespore wirkliche Pilzmycelien trieb, und ebensowenig aus einer unzweifelhaften Schimmelspore, die schon angedeutete Ausnahme bei *Mucor* zur Seite gelassen, Hefessprossungen entstanden.

Wenn man nun hinzunimmt, wie leicht von jener anderen Seite der sogenannten Reinkultur ein Irrtum mit unterlaufen konnte, wie erstens einmal die leuchtenden Entdeckungen Tulasne's, Julius Kühn's und de Bary's selber über die Pleomorphie der Pilze die Phantasie der Botaniker entzündeten und damit die Fähigkeit zur geduldigen Beobachtung schwächen mussten, wie dann das ungerech-

*) Vgl. Reess: Kritik der früher verwendeten Methoden; Ann. d. Önologie, Bd. II, p. 124, ebenso de Bary: Hofmeister Handb. d. phys. Bot., II, p. 182.

fertigte Vertrauen auf die Beweiskraft solcher Reinkultur weiteres Unheil anrichten musste, wie leicht auch bei Verfolgung der Entwicklung von Pilzindividuen einmal einander ähnelnde Zellen verwechselt werden konnten, so erscheint es begreiflich, dass selbst gewiegte und hochverdiente Forscher hier auf einen Abweg geraten konnten. Für unkritische oder oberflächlich beobachtende Köpfe lag hier vollends ein bodenloser Abgrund verborgen, und wir dürfen uns nicht wundern, dass durch solche die abenteuerlichsten Entdeckungen, die das ganze botanische System der Pilze in ein rätselhaftes Wirrsal von Behauptungen aufzulösen drohten, proklamiert wurden*).

Diese, hinsichtlich der Zuverlässigkeit der damals gebrauchten Methode so abfällige Kritik verhindert, wie gesagt, natürlich nicht, dass in manchen der so geförderten Resultate ein Kern von Wahrheit verborgen sein konnte. So darf man sich nicht wundern, wenn bei der späteren Bearbeitung der Hefefrage einzelne Thatsachen wieder erhärtet wurden, auf welche in ähnlicher Weise diejenigen Forscher, welche die Hefeorganismen mit verwandten Formen zusammenwarfen, schon aufmerksam gemacht hatten. Ich möchte mit dieser Bemerkung vor allem auf die Auffindung von sogenannter *Mucorhefe* hinweisen. Man kann sich nämlich nach diesem Funde nicht mehr der Anerkennung des Satzes verschliessen, aus Schimmel könne in der That alkoholerzeugende Hefe entstehen, eines Satzes, der vordem den phantastischen Pleomorphisten als schwerste Sünde angerechnet worden ist.

Der Fall ist in kurzem folgender. Eine bekannte Schimmelform, die mächtige dunkelgefärbte Sporangien, beinahe in der Grösse von kleinen Stecknadelköpfen, auf 5 cm langen Fruchthägern hervorbringt, *Mucor racemosus*, hat die Eigenschaft, bei völligem Luftabschluss in Zuckerlösungen ihre Mycelfäden in kurze tonnenförmige oder kugelige Glieder abzutheilen, die nun als „Kugelhefe“ hefeartig weitersprossen,

*) Mit diesen letzten Worten ziele ich vorzüglich auf Hallier ab, dessen vermeintliche Funde eine Zeit lang von der grossen Masse der wissenschaftlichen Interessenten angestaunt wurden und noch lange selbst bei Fachmännern (vergl. Schleiden: Über den Schimmel: Unsere Zeit, neue Folge, IV, 1, p. 291) ein gewisses Ansehen genossen. Nach diesem Forscher sollten die verschiedenartigsten, bis dahin als differente Gattungen unterschiedenen Formen nicht als notwendige, aber als gelegentliche Glieder der Generationsfolge eines und desselben Organismus aufgefasst werden. Alles sollte innerhalb eines gewissen Kreises die Fähigkeit in sich tragen, alles zu werden; man brauchte es bloss mit einem Zauberstabe zu berühren. Als dieser wurde angepriesen: abgeänderte Lebensbedingungen, Sauerstoffzutritt oder Mangel, Wärme oder Kälte und namentlich die Veränderung der Natur des Substrates, auf dessen Kosten die Pilze lebten. Die Behauptungen waren für einen geübten Mykologen ungefähr so, als ob — um ein grob makroskopisches Bild zu gebrauchen — jemand kurz nach Entdeckung der Thatsache, dass Raupe und Schmetterling verschiedene Entwicklungsstufen eines und desselben Tieres sind, sich durch ungenaue Beobachtungen zu der Meinung hätte verleiten lassen, aus Schlangen könnten Vögel entstehen und aus Vogeleiern könnten auch gelegentlich wieder Schlangen auskriechen oder zu irgend einer ähnlichen haarsträubenden Behauptung. Ungefähr eine derartige, nur wegen der schwierigeren Zugänglichkeit des Gegenstandes minder handgreifliche Verwirrung entstand auf dem mykologischen Gebiete durch Hallier's vermeintliche Entdeckungen. Aus einem Hefepilze sollten nicht bloss unter bestimmten Ernährungsbedingungen Schimmelpilze werden, sondern unter je besonderen Verhältnissen: *Mycoderma*-ähnliche Formen, dann wieder *Mikrococcus* und viele andere Dinge.

solange diese selben Ernährungsbedingungen bestehen, und — was das wichtigste ist und schon von Bail richtig hervorgehoben war — unter diesen Umständen eine wahre alkoholische Gärung jener Lösungen veranlassen. Vgl. Fig. 13 *). Einige anderen Mucorarten verhalten sich ähnlich. Wir müssen zwar hinzusetzen, dass die so erregte alkoholische Gärung sich in einigen Stücken von der normalen durch *Saccharomyces*arten unterscheidet **). Aber das ist einstweilen Nebensache. Faktum ist, dass wenigstens einige Schimmelformen bei abgeänderter Ernährung eine Art von Hefe zu erzeugen vermögen. Dass diese Hefezellen sehr viel grösser sind als die gewöhnlichen, in der näheren Gestaltung denselben unähnlich und daher nicht wohl mit diesen verwechselt werden durften, ist freilich wahr.

Wenn auf der einen Seite, gezwungen durch die Umstände, in einem gewissen rein physiologischen Sinne Schimmel zu Hefe werden kann, so ist bis zu einem gewissen Grade nach den neueren klassischen Untersuchungen von E. Hansen ***) auch das Entgegengesetzte der Fall. Dies gilt natürlich nicht in dem phantastischen soeben von uns getadelten Sinne, nach welchem alle Formen der niederen Lebewesen nur der Ausfluss wären der äusseren Umstände und also mit diesen Umständen ineinander zu verwandeln, sondern wieder in derselben eingeschränkten Weise, welche wir soeben für einige Mucorarten haben kennen lernen. Hansen hat nämlich für sechs *Saccharo-*



Fig. 13. *Mucor racemosus* als Kugelhefe.
Vergr. 350.



Fig. 14.

*) Bail ist der erste Beobachter, Reess der eigentliche Entdecker dieser Thatsache.

**) Der erregte Umsatz scheint zwar nach den interessanten Mittheilungen von Fitz über diesen Gegenstand der gleiche zu sein. Wenigstens ist das Verhältnis zwischen Alkohol und Kohlensäure augenscheinlich dasselbe und Bernsteinsäure konnte als Gärungsprodukt nachgewiesen werden. Allein die Mucorhefe verliert schon nach Anhäufung von geringeren Mengen Alkohol in der Flüssigkeit die Fähigkeit, die Zuckerzersetzung weiter fortzusetzen, *Mucor mucedo* bei einem sehr niedrigen Procentgehalt. Vgl. A. Fitz: Berichte d. deutsch. chem. Gesellsch., 1873, p. 48, u. 1876, p. 1352, u. Hansen: Meddelelser, II, p. 245. Auch die Ausscheidung von Enzym ist bei „Mucorhefe“ geringer wie bei *Saccharomyces*hefe, infolge wovon Milchzucker, der erst durch solche Fermente intervertiert werden muss, durch Mucor nicht in Gärung versetzt wird (ebenda).

***) Meddelelser, II, p. 152.

mycesspezies und zwar für solche, die gewöhnlich die alkoholische Gärung erzeugen, unter allen Kautelen der modernen und zuverlässigen Reinkultur gezeigt, dass, wenn man sie an die Oberfläche von gehopfter Bierwürze bringt, sie auf derselben, ähnlich wie das für eine nichtgärende Hefeart, den *Saccharomyces Mycoderma*, überhaupt charakteristisch ist, Häute bilden und unter diesen Umständen lange mycelartige Zellen (vgl. Fig. 14) erzeugen, deren Zugehörigkeit zu dem Formenkreis der Art, aus welcher sie der Versuchsführung nach hervorgegangen sein musste, auch dadurch überzeugend dargethan wurde, dass sie nachträglich manchmal zu der charakteristischen Ascosporenbildung gebracht werden konnten. Also auch hier entspricht der abgeänderten aeroöbischen Lebensweise eine Formänderung im Sinne der gewöhnlichen Gestaltung freien Sauerstoff atmender Organismen überhaupt.

Allerdings ist der hier in den Vordergrund gestellte Satz der an die Lebensweise angepassten Form nicht ganz vollständig, insofern manche *Mucor*arten auch in der Mycelform eine schwache Gärung erzeugen, und andererseits, wie schon erwähnt, allerlei sprossende Formen hierzu nicht befähigt sind. Immerhin ist die in Rede stehende Reaktion auf die äusseren Lebensbedingungen sehr auffällig. Sie erinnert daran, etwa wie im Wasser lebende Säugetiere, freilich hier erst im Laufe von ungezählten Generationen, so sehr die Form von Fischen annehmen, dass sie im Sprachgebrauch des gewöhnlichen Lebens als solche gelten, oder wie die Wüstentiere Lama und Strauss, trotz ihrer Zugehörigkeit zu so weit auseinanderliegenden Formen, eine solche (jedenfalls für diese Lebensweise zweckmässige) Übereinstimmung des Habitus erwerben, dass, wie aus der Erzählung von Reisenden hervorgeht, Verwechslungen aus der Ferne vorzukommen scheinen.

Die in Rede stehende Entdeckung hat also eine weitgehende Bedeutung für uns. Wenn irgend eine sonst fremdartige Form von dem Augenblicke an, wo sie die alkoholische Gärung vollzieht, durch hefeartige Sprossungen sich fortpflanzt, während sie unter anderen Verhältnissen weit entfernt davon ist, dergleichen Bildungen hervorzubringen, so kommt man nicht bloss zur Überzeugung, dass eine grössere Anzahl von niedrigen Organismen unter ganz bestimmten Verhältnissen (namentlich relativer Sauerstoffabschluss und Anwesenheit von Zucker) alkoholische Gärung hervorzubringen vermag*) — wie denn selbst Pasteur in dieser Richtung weitgehende Behauptungen gemacht hat —, sondern man erkennt namentlich, dass die Art der Fortpflanzung durch Sprossung in nahem Zusammenhange stehen muss mit dieser spezifischen physiologischen Thätigkeit, wenn sie auch keineswegs ein untrügliches Zeichen für dieselbe ist. Zu diesem Satze einmal gelangt, liegt dann die Hypothese nicht mehr fern, dass die gewöhnlichen Hefepilze denn doch vielleicht im Darwin'schen Sinne des Worts von anderen sonst myceltreibenden und auch im übrigen höher organisierten Pilzen abstammen mögen**), und dass in den meisten

*) Vgl. über das schwache Gärungsvermögen von *Torula* und *Molinia candida* Hansen: Meddelelser, II, p. 231—4, texte danois. Die letztere soll merkwürdigerweise den Rohrzucker ohne vorausgehende Intervertierung vergären. Eine Folgerung, die indes hauptsächlich darauf beruht, dass der Rohrzucker als solcher verschwindet, was aber auch auf einer im Verhältnisse zur Gärung schwachen Invertinabscheidung beruhen kann.

**) Nach einer Hypothese von Brefeld sind sie Conidienformen von anderen Pilzen, nicht

Fällen* die Übergangsfähigkeit von der einen Form in die andere durch lange Ungewohntheit verloren gegangen ist.

Schliesslich folgt aus derselben Thatsache für unsern Sprachgebrauch, dass wir in Zukunft den Ausdruck *Hefepilz* entweder rein morphologisch definieren und mit der Gattung *Saccharomyces* identifizieren müssen, dann aber zu dem Geständnis gezwungen sind, dass Hefepilze und Alkoholgärungspilze sich nach beiden Seiten hin keineswegs decken. Besser können wir aber die beiden letzteren Ausdrücke als Synonyme auffassen, was einer physiologischen Bedeutung des Wortes Hefepilz entsprechen würde. Die Folge davon wäre das Zugeständnis, dass ziemlich verschiedenartige Organismen gelegentlich als Hefepilze funktionieren, dass den *Saccharomyces*arten keineswegs ausschliesslich eine derartige Befähigung zukommt, ja dass einige von ihnen nichts dergleichen zu leisten im stande sind.

In Bezug auf diesen letzten Punkt haben noch die neuesten Untersuchungen sehr schlagende Beispiele geliefert. Der von Hansen isolierte *Sacch. membranaceifaciens* erzeugt keine alkoholische Gärung, unerachtet seiner erwiesenen morphologischen Zugehörigkeit zum *Saccharomyces*geschlecht. Auch konnte bei ihm kein Vermögen zum Invertieren des Rohrzuckers aufgefunden werden.

Auch zwischen anderen Arten des Geschlechtes besteht noch der Unterschied, dass einzelne nicht Maltose, wohl aber Dextrose und Rohrzucker vergären können, was offenbar auf dem Fehlen des betreffenden Enzyms beruhen muss. Zu diesen Arten gehört z. B. der *Sacch. exiguus* und der auf den Trauben entdeckte *Sacch. Marxianus**).

Weiter ist natürlich die Gärungsenergie bei verschiedenen Arten verschieden gross, also dass z. B. *Sacch. apiculatus* nicht geeignet ist, die Vergärung einer zuckerreichen Lösung völlig zu Ende zu führen.

Das Wort Hefe wird immer für die Niederschläge aus gärenden Flüssigkeiten, an denen die Fermentwirkung haftet, die aber naturgemäss aus sehr verschiedenen, allerdings wesentlich immer auch aus gärungserregenden Organismen bestehen, beibehalten werden müssen. Hefepilze heissen alsdann zweckmässig die gärungserregenden Pilze in solchen Niederschlägen, die je nach der Art der Gärung etwas Verschiedenes bewirken, aber immerhin durch einen allgemeinen physiologischen Charakter zusammengehalten werden. Eine spezielle Klasse solcher Hefepilze wären dann die Alkoholgärungspilze, unter diesen spielen gewisse *Saccharomyces*arten die hervorragendste Rolle, wodurch nicht verhindert würde, einzelne *Saccharomyces*arten mit dem populären Namen Bierhefepilz, Weinhefepilz zu bezeichnen.

etwa gerade von Brandpilzen, wie man manchmal angegeben findet. (Dies ward von ihm unentschieden gelassen.) Siehe dessen Botan. Unters. über Hefe- und Schimmelpilze, Leipzig 1872—83, H. 5. — Neuerdings hat Jürgensen die Zusammengehörigkeit der *Saccharomyces* mit *Dematium*-artigen Schimmelpilzen nachzuweisen versucht. Vgl. Centralblatt für Bakteriologie u. Parasitenkunde, 1895, Nr. 9.

*) Vgl. Hansen: Meddelelser, II, p. 222—5, texte danois.

Siebente Vorlesung.

Beschreibung der Hefeorganismen (Schluss). — Die chemische Zusammensetzung derselben.

Wenn dasjenige, was bisher zur Darstellung gelangte, im wesentlichen das Resultat ist von Untersuchungen, die nach älteren Methoden gewonnen wurden, so müssen wir heute reden von der glänzenden Entwicklung der Wissenschaft der kleinen Lebewesen nach Auffindung einer wirklichen (nicht einer sogenannten) Reinkultur. Zu Ende der 70er Jahre ist es wirklich, Dank sei vor allem dem unermüdlichen Experimentieren zweier deutschen Forscher, des Botanikers Brefeld und des Mediziners Koch, gelungen, eine wirkliche Reinkultur zu begründen, welche bald sowohl auf dem Gebiete der Gärungsgewerbe, wie auch dem der ansteckenden Krankheiten von den allergrössten Erfolgen sich erwiesen hat. Man lernte namentlich durch den Gebrauch halbflüssiger Medien wie Gelatine und Agar-Agar und durch Verdünnung des Infektionsstoffes bis zum Vorhandensein von im Durchschnitt nur einer einzigen Zelle in derjenigen Menge, welche man zur Aussaat verwendete, und unterstützt durch das Befreien der Umgebung von allen niedrigen Organismen (Sterilisation) Kulturen zu erzeugen, die logisch notwendig nur Einheitliches enthalten konnten. Der halbflüssige Zustand des übrigen, was Ernährung und Umsetzung anging, ziemlich indifferenten Mediums verhinderte dabei das Wandern der ausgesäeten Zellen durch die ganze Masse und erleichterte oder ermöglichte auf diese Weise die Beobachtung von sogenannten Pilzkolonien, die häufig schon für das unbewaffnete Auge äusserst charakteristisch für bestimmte Formen sich erwiesen.

Diese Methode mit der grössten Eleganz, originellen Verbesserungen*) und mit grossartigen praktischen Erfolgen auf das Studium der Hefearten angewendet zu haben, ist das unbestreitbare Verdienst des Dänen E. C. Hansen, der in dem glänzend ausgestatteten physiologischen Laboratorium zu Karlsberg bei Kopenhagen durch viele Jahre seine minutiösen Untersuchungen fortsetzte, von denen die moderne Umwälzung der Gärungsgewerbe zunächst des Brauereiwesens ihren Ausgang genommen hat.

*) Begeisterte Schüler Hansen's behaupteten wohl dessen absolute Priorität auf dem Gebiete der Reinkultur; doch lehrt das Studium der Litteratur nur wesentliche Verbesserungen schon vorhandener Methoden. Vergl. z. B. den Aufsatz Jörgensen's: Chem.-technischer Centralanzeiger, 1886, Nr. 27 u. 28, und namentlich die historische Schilderung von J. C. Holm (Meddelelser etc., III, p. 1), woraus hervorgeht, dass die Grundidee der Verdünnungsmethode, welche eine so grosse Rolle spielt, bei der Reinkultur von Lister ausgegangen ist, dass die Idee, durch ein solides Substrat die von einem einzelnen Individuum ausgehenden Kolonien zu fixieren, von Schröter herkommt und später von Koch verbessert und mit den grössten praktischen Erfolgen angewandt worden ist. In Bezug auf die Prioritätsfrage sind Hansen's eigene Worte charakteristisch: „La méthode de M. Koch avec la modification que nous venons de décrire, fournit un moyen parfaitement sûr d'obtenir une culture à l'état de pureté“ (Meddel. fra Carlsb. Laborat., II, p. 28). Vergl. auch Hansen's Zeitschrift für physiolog. Mikroskopie, 1894, p. 191.

Die Hauptresultate dieser epochemachenden Untersuchungen können wir hier kurz, grossenteils mit den eigenen Worten Hansen's, zurückgeben. Seine ersten praktischen Versuche wurden in den berühmten Brauereien zu Alt-Karlsberg bei Kopenhagen ausgeführt.

Als Hansen seine Arbeiten in dieser Richtung anfang, war die botanische Seite der Hefefrage überall in den Brauereien ein vollständiges Rätsel, es war der schwächste Punkt im ganzen Betriebe. Ein ganz allgemeines Verfahren war es allerdings, Hefe zu wechseln; der eine Brauer wechselte mit dem anderen. Häufig erhielt man in dieser Weise ein gutes Resultat, bisweilen aber auch ein schlechtes, oft ein noch schlechteres als das, welches die Veranlassung dazu gab, dass man neue Hefe suchte. In allen Fällen war es ein Arbeiten aufs Geratewohl, ganz ins Blaue hinein, man wusste gar nicht, was man in die Würze hineinbrachte. Die mykologische Analyse, wie sie damals möglich war, ging nicht weiter als zu konstatieren, ob die Stellhefe mit Bakterien und Schimmelpilzen verunreinigt war oder nicht. Aber sehr oft zeigte es sich eben, dass eine Hefe, die man einer solchen Untersuchung zufolge als gut annehmen musste, schlechtes Bier gab und umgekehrt. Hierdurch wurde Hansen zu der Hypothese geführt, dass das Geheimnis in den Hefezellen selbst liegen müsste, und dass diese scheinbar gleichartigen Zellen doch möglicherweise verschiedenen Arten angehören könnten. Von diesem Ausgangspunkt entwickelten sich seine Untersuchungen über die Saccharomyceten. Die praktische Frucht davon war zunächst die bestimmte Darlegung, dass einige der allgemeinsten und schlimmsten Krankheiten im Biere, wie unangenehme Geschmacksänderungen und Hefetrübung, nicht, wie Pasteur seiner Zeit gemeint hatte, von Bakterien, sondern *von gewissen, botanisch gesprochen echten Hefearten herrühren*.

Erst als dieses durch exakte Experimente sowohl im Laboratorium wie im Grossbetriebe festgestellt war, ergab sich die klare Forderung, die Hefefrage von einem neuen Gesichtspunkte zu behandeln: *Die Stellhefe dürfe nur aus einer einzigen Art bestehen, nämlich aus der für die betreffende Brauerei günstigsten*.

Natürlich war, um dieses Ziel zu erreichen, eine genaue Kenntnis der verschiedenen Hefearten, ihrer Form, ihrer Entwicklung und der Eigenschaften ihrer Produkte notwendig.

Im Jahre 1883 führte Hansen, nachdem er jahrelang unermüdlich in der angegebenen Richtung gearbeitet hatte, die erste reingezüchtete Stellhefe in Alt-Karlsberg ein, seitdem hat diese Brauerei fast ausschliesslich ihren Betrieb auf reine Hefe basiert. Später sind solche planmässig ausgewählte und reinkultivierte Heferassen nicht nur in allen grösseren Brauereien Dänemarks und Norwegens, sondern sogar auch in dem klassischen Lande der Biererzeugung, in Bayern, eingebürgert worden, und diese Reform dringt auch an anderen Orten unaufhaltsam vorwärts*).

*) Um zu zeigen, dass nicht von Versuchen im kleinen die Rede ist, sei mitgeteilt, dass die jährliche Produktion in Alt-Karlsberg allein circa 200 000 Hektoliter Lager- und Exportbier schon im Jahre 1887 betrug. Die grosse Hauptmasse dieses Bieres wird mit reiner Hefe gegoren. Diese eine für dänische Verhältnisse speziell ausgewählte Rasse liefert folglich jährlich Bier für mehrere Millionen Gulden, und sie hat, wie gesagt, seit Jahr und Tag ihre Probe bestanden. Durch welche Apparate es gelingt, rein gezüchtete Hefen in grossen Mengen

Als Vorteile des neuen Verfahrens werden von dem Entdecker selber hervorgehoben:

1. Dass man sich ein bestimmtes Resultat, einen rationellen Betrieb garantiert, während früher alles mehr oder weniger aufs Ungewisse, aufs Geratewohl basiert war.

2. Man schützt sich gegen Krankheiten im Biere, die grosse Geldverluste verursachen können.

3. Man erhält eine Hefe, die im Handel mit Stellhefe einen grösseren Wert hat*).

Doch ist auch das Folgende zu beachten:

Eine Reinkultur, welche einmal in eine Brauerei eingeführt ist, kann sich nicht ins Unendliche hinlänglich rein halten. Die Würze von den offenen Kühlschiffen bringt besonders in den Sommer- und Herbstmonaten unerwünschte Infektionen von Bakterien und „wilden“ Hefen, wie die unliebsamen Rassen von nun an konsequenterweise genannt wurden, mit sich; dasselbe gilt auch von der unreinen Luft, die namentlich in Gärkellern, wo man ohne Luftreinigung und ohne Eismaschinen arbeitet, vorhanden ist. Auch besonders die Geräte und die Arbeiter selbst führen leicht Infektionen herbei. Obwohl unter den gleichen Bedingungen eine reine Hefe sich länger im Betriebe bewähren kann als eine unreine, kommt unter allen Umständen ein Zeitpunkt, wo es notwendig ist, eine neue Reinkultur wieder einzuführen. Wann dies geschehen muss, wird durch botanische Analyse festgestellt**).

Um noch auf einige Details der Hefefrage in dem eben erläuterten Sinne einzugehen, sei noch das Folgende erwähnt. Hansen bewies insbesondere, dass *Saccharomyces*spezies, welche er *S. ellipsoideus II* und *S. Pastorianus III* nannte, wenn sie auch nur in bestimmten Mengen guter Hefe beigemischt sind, und wenn sie nicht zu spät der gärenden Würze zugemischt werden, das Bier trübe machen. Zutritt der Luft soll dabei die Entwicklung dieser wilden Hefearten begünstigen.

darzustellen, dass sie in den praktischen Betrieb eingeführt werden können, ist in den Spezialwerken nachzusehen.

*) Alle diese Vorzüge wurden später durch Brauereitechniker bestätigt und noch besonders hervorgehoben, dass man auf diese Weise einen beliebten Geschmack des Bieres mit Sicherheit und in grosser Konstanz erzeugt und dass das so bereitete Produkt die Eigenschaft hat, sich leichter und vollständiger zu klären. Vergl. Compt. rend. de la société des brasseurs Belges, 1890, p. 18 u. 21. Auch in hygienischer Hinsicht bietet ein Getränk, mit einer definierbaren Hefe gebraut, eine grössere Garantie.

**) Die Analyse wird so ausgeführt, dass der Entwicklungsmodus der Endosporen benutzt wird. Überführt man die verschiedenen bekannten *Saccharomyces*arten durch Impfstiche in Nährgelatine (Bierwürze mit Zugabe von circa $5\frac{1}{2}$ Proz. Gelatine), welche in kleinen, mit Baumwolle verschlossenen Kolben enthalten sind, jede Art für sich, und stellt das Ganze bei 25° C. hin, so treten im Laufe von 11 bis 14 Tagen makroskopische Differenzen in den sich entwickelnden Vegetationen hervor, so dass diese vier mehr oder weniger scharf untereinander getrennte Abteilungen bilden. Eine Sonderstellung nimmt z. B. *Saccharomyces ellipsoideus* ein, indem die Oberfläche seiner Vegetation sich durch eine eigentümliche netzförmige Struktur auszeichnet, so dass diese Spezies hierdurch mit unbewaffneten Augen von den übrigen unterschieden werden kann. In anderen Fällen bilden die mehr glatten oder mehr ausgefranzten Ränder gute makroskopische Anhaltspunkte zur Unterscheidung. Mikroskopische Unterschiede dienen daneben, aber nicht ausschliesslich, zur analytischen Sonderung. Von einiger Wichtigkeit für die praktische Analyse sind auch die im Bau der Sporen beobachteten Differenzen zwischen den Kultur- und wilden Heferassen.

S. Pastorianus I erteilt dagegen dem Biere einen unangenehmen Geschmack und Geruch durch Erzeugung eines noch nicht isolierten und jedenfalls nur in kleinen Mengen vorhandenen Stoffes. Auch soll bei seiner Anwesenheit das erzeugte Bier weniger haltbar sein. Ähnliche Thatsachen sind in der Folge auch durch andere Forscher, Grönlund, Rokosinski, Will und Lindner, beigebracht worden*).

Andere haben die Hansen'schen Gesichtspunkte in andere Gärungsgewerbe, zumal die Wein- und Obstweinbereitung, übertragen. So Wortmann**), welcher konstatierte, dass der Charakter der in diesen wichtigen Industrien gewonnenen Produkte hauptsächlich abhängt von der verwendeten *Saccharomycesspezies*, dass wenigstens die Eigentümlichkeiten derselben nicht mit Berührung der verschiedenen Mostarten verloren gehen. Praktische Folgen der allerwichtigsten Art sind also auch auf diesen Gebieten mit Sicherheit vorauszusehen.

Weniger bedeutend erscheinen die Erfolge einstweilen für den Brennereibetrieb und dafür dürften die folgenden Betrachtungen zur Erklärung dienen, abgesehen davon, dass es in diesem Gewerbe auf Geschmacksdifferenzen der Maische nicht ankommt.

Wenn nämlich in dem Vorgehenden die strenge Hefereinzucht in ihrer Bedeutung für die Gärungsgewerbe in das helle Licht gesetzt worden ist, welches sie verdient, so verhindert dies natürlich nicht, dass es auch Fälle giebt, wo die Praxis unbewusst schon den Zweck erreicht hat, zu welchem der Gebrauch einer reinen Hefe mitwirken sollte, und wo durch das Einleiten der Gärung bei einer bestimmten Temperatur und viele andere erfahrungsgemäss nützliche und darum für einen bestimmten Betrieb unverändert übliche Maassregeln, vor allem aber durch Gebrauch eines bestimmten Teils des aus der vorausgehenden Operation zur Verfügung stehenden Hefematerials, die sogenannten wilden Hefen und die unliebsamen Bakterien genügend ausgeschlossen werden. Delbrück hat ganz neuerdings in einem sehr lesenswerten und gedankenreichen Aufsatz***) auf diesen Thatbestand hingewiesen und besonders gezeigt, wie bei der Spiritusfabrikation durch den Milchsäure- und Alkoholgehalt der Maische, die zur Erzeugung der Kunsthefe gebraucht wird, in sehr wirksamer Weise Buttersäuregärung sowie das Auftreten wenig kräftiger Alkoholhefe bekämpft wird. Ein solches Verfahren nun aber mit Delbrück „natürliche Reinzucht“ zu nennen, ist etwas gefährlich, weil eine solche Ausdrucksweise eine Art von Reaktion gegen das wirkliche und nun zum „künstlichen“ Reinzuchtverfahren gestempelte einzuleiten im Stande sein möchte, während doch diese Methode als einzig sichere, wenn auch vielleicht nicht in allen Fällen unumgänglich nötige unverrückt in erster Stelle stehen bleiben muss.

Aber das ist natürlich richtig und von dem eben genannten Berliner Gärungschemiker mit sehr schlagenden Beispielen erläutert, dass nicht jeder Zweig des Gärungsgewerbes die gleichen Vorteile vom Reinzuchtverfahren haben wird und zweitens, dass feststehende zweckmässige Maassregeln in einem jeden Betriebe sehr viel dazu beitragen können, dass die einmal erlangte Reinheit der Gärung gehandhabt bleibt oder sogar verbessert wird. Man muss von der verwendeten reinen Hefe eben nicht alles und jedes erwarten, sondern durch Studien ihrer besonderen physiologischen

*) Meddelelser etc., III, p. 214.

**) Landw. Jahrb., 1894, p. 535.

***) Wochenschrift f. Brauerei, 1895. Sonderabdruck.

Ansprüche ihr den weiteren Kampf gegen die fremden Eindringlinge zu erleichtern suchen. Ist man einmal von diesen Bedingungen und von den abweichenden der letztgenannten Schädlinge gut unterrichtet, so kann man sich die wiederholte Anschaffung von Reinkulturen in vielen Fällen ersparen, gerade wie man ein Grasland durch richtige Kultur und Pflege von Unkräutern rein erhalten kann und in diesem Falle seltener zur Neuaussaat der guten Gräser überzugehen braucht, und wie andererseits der Erfolg dieser Neuaussaat bald fraglich wird, wenn man dieselbe nicht durch Einhaltung der abgelauteten Kulturbedingungen unterstützt.

Insbesondere hat die Einführung reiner Hefe nach der Methode Hansen darum für die Bierbrauerei eine höhere Bedeutung als für die Spiritusbereitung, abgesehen davon, dass die Bildung von besonderen Geschmackstoffen durch wilde Hefen für jene von viel grösserer Wichtigkeit ist, weil bei der Bierbrauerei und namentlich bei der Nachgärung im kalten Lagerkeller eine verhältnismässig sehr langsame Gärung unterhalten wird, die eben gewissen Rassen eigentümlich ist und wogegen stark gärende wilde Rassen sehr wirksam konkurrieren können, während bei der Spiritusbereitung die starke Gärung natürlich von jeher der Hauptgesichtspunkt war, wodurch es unbewusst besser gelungen ist, die in diesem Falle unerwünschten Hefesorten auszuschliessen.

Die praktischen Erfolge des Hansen'schen Verfahrens in einzelnen Gärungszweigen sind aber so ungeheuer, dass es gewiss der Mühe lohnt, dasselbe probeweise in jedem Zweige der Technik, welche es mit Gärung zu thun hat, anzuwenden. Daneben muss man natürlich ein offenes Auge behalten für alle Momente, die noch ausserdem zu einer Reinheit der Gärung beitragen können, wie z. B. amerikanische Brauer die Nachgärung des Bieres in den Lagerfässern nicht vollziehen lassen durch die zufällig noch im Biere suspendierte Hefe, die gerade die allerunreinste ist, sondern durch Zusetzen von bereits ausgeschiedener Hefe, aber eben von solcher, welche die besten Eigenschaften hat, und was dergleichen praktischen Winke mehr sind, über welche man in Spezialwerken über jeden Gärungszweig sich insbesondere unterrichten muss.

Auch noch in anderen Richtungen sind die Hansen'schen Untersuchungen fruchtbar gewesen, und können wir für unsern Zweck nicht umhin, wenigstens die folgenden Punkte hier kurz zu berühren. In Bezug auf die Konstanz der morphologischen und physiologischen Eigenschaften haben die Hansen'schen Untersuchungen gelehrt, dass man zwar durch konsequentes Vegetierenlassen unter *extremen* Umständen manche der Arten dauernd in ihren Eigenschaften verändern kann, aber dass doch die Arten unter den praktisch in den Gärungsgewerben herrschenden Umständen als konstant gelten können*).

Nach Reess galt z. B. die Oberhefe, mit welcher die englischen und die meisten Lokalbiere bereitet werden, im Gegensatze zu der Unterhefe, dem charakteristischen Erzeuger der bayrischen Biere, als Varietät einer und derselben *Saccharomycesart*. Nach Hansen haben verschiedene *Saccharomycesarten* einen obergärigen

*) Vergl. die zusammenfassende Darstellung von E. C. Hansen: Untersuchungen a. d. Praxis der Gärungsindustrie, 1890, p. 78.

oder untergärtigen Charakter, den sie bei Kultivieren unter den entgegengesetzten Bedingungen keineswegs dauernd einbüßen. Mit den Begriffen Oberhefe und Unterhefe ist also heute nicht viel mehr anzufangen*). Sie geben nur eine vorläufige Charakteristik, überheben uns aber nicht dem Suchen nach wirklichen Spezies in beiden Typen.

Nachdem die rasch sich entwickelnde moderne Bakteriologie sich speziell auch mit der Untersuchung der Hefepilze eingehend zu beschäftigen begann, sind dann noch viele anderen Saccharomycesarten gefunden worden, wofür namentlich getrocknete Früchte und besonders solche, die bei der Sammlung mit dem Erdboden in Berührung gekommen waren, auch ausländische, eine ergiebige Quelle abgaben.

Hierbei wurden auch neue Formen entdeckt, welche, obwohl sie die hauptsächlichsten physiologischen Eigenschaften mit den gewöhnlichen Hefearten teilen, doch in Bezug auf Wachstumserscheinungen und Form so viel Abweichungen darbieten, dass man auch neue Geschlechter abzuzweigen beginnt**). Es liegt dem Zwecke dieser Darstellung fern, dieses rein botanische Gebiet zu betreten. Es giebt heutzutage, wie schon in der Einleitung zu diesem Abschnitte gesagt wurde, neben der Gärungschemie auch eine Gärungsbotanik und die Haupterrungenschaften in dem letzten Decennium liegen sogar wesentlich auf diesem Gebiete; und bei der immer mehr notwendigen Arbeitsteilung ist es nunmehr an der Zeit, dass ebenso, wie neben der landwirtschaftlichen Chemie eine landwirtschaftliche Botanik besteht, auch dieser Gegenstand eine ganz besondere Behandlung durch Fachleute erfährt.

Die wichtigsten Sätze, die sich aus unseren heutigen Betrachtungen und denen der vorausgehenden Vorlesung ergeben, sind:

- 1) Es giebt mehrere, botanisch voneinander unterscheidbare, Arten von alkoholischen Hefepilzen, die der Hauptsache nach denselben Chemismus in Zuckerlösungen vollziehen. Dieselben gehören dem Geschlechte *Saccharomyces* an.
- 2) Auch für einige Schimmelpilze (Mucorarten) ist die Fähigkeit, eine Art von alkoholischer Gärung zu vollziehen, erwiesen. Ob in diesem Falle genau der gleiche Zerfall des Zuckers erfolgt wie bei der Vegetation der eigentlichen Hefepilze, ist noch nicht mit Sicherheit zu behaupten, obschon nach den vorliegenden Untersuchungen wahrscheinlich.
- 3) Dennoch sind diese Schimmelpilze praktisch in den wenigsten Fällen zur Gärungserregung zu benutzen, weil diese Organismen ihre Thätigkeit der Zuckererspaltung schon bei sehr geringen Mengen von erzeugtem Alkohol einstellen.
- 4) In allen Fällen entspricht der Erregung der alkoholischen Gärung eine vegetative Sprossung verhältnismässig kurzer Zellen ohne Vollzug von Fruktifikation.

*) Es ist übrigens unrichtig, dass diejenigen Saccharomycesarten, welche nach der Weise der Oberhefe sich verzweigen und in der Flüssigkeit verteilen, stets die höheren Temperaturen nötig haben, wenn diese Regel auch für manche der gewöhnlichsten Formen gelten mag. Vergl. Hansen: Meddelelser, II, p. 119, texte français.

**) Siehe besonders Beyerinck: Centralbl. f. Bakteriologie etc., 1894, p. 49, wo eine von Rosinen gezüchtete alkoholbildende achtsporige Form, *Schizosaccharomyces octosporus*, mit grosser Genauigkeit geschildert wird. — Über ganz besondere Vorgänge bei der Ascosporenbildung von *Saccharomyces octosporus* vergl. auch Schionning: Meddelelser fra Carlsb. Labor., IV, p. 77.

tionserscheinungen und bei Schimmelpilzen auch bei Ausschluss oder Zurückdrängung eigentlicher Mycelbildungen.

- 5) Die Saccharomycesarten können durch eigentümliche Vegetations- und Ernährungsbedingungen (viel Sauerstoff, wenig Zucker) zu einer Art Fruktifikation, einer Sporenbildung, gebracht werden. Dieselben vollziehen aber diese Fruktifikation, analog dem Verhalten mancher anderen Pilze, nur gelegentlich, so dass sie den ganzen Kreislauf der möglichen Formen nicht notwendig völlig zu durchlaufen brauchen.
- 6) Die Sporen der Saccharomycesarten können wieder, wenn die Bedingungen hierzu günstig, ohne weiteres durch Sprossung in die vegetative Form übergehen oder aber längere Zeit keimungsfähig in diesem Zustande verharren.
- 7) Bei der Biergärung sind spezifisch andere Gärungspilze thätig als bei der Weingärung und auch die verschiedenen Biergärungsmethoden entsprechen z. T. der Kultur abweichender Hefepilzarten. Ebenso ist bei der Weingärung eine noch grössere Anzahl von verschiedenen Saccharomycesarten thätig. Manche Arten liefern (durch Erzeugung von Geschmackstoffen, schlechtem oder besserem Absetzen) ein besseres oder schlechteres Produkt.
- 8) Es ist eine Aufgabe der Technik, die guten Arten auszusuchen und dieselben getrennt von den sogenannten „wilden Hefearten“ zur Verwendung zu bringen. Wenn nötig, ist dazu die Reinkultur, ausgehend von einer einzelnen Zelle der gewünschten Art, anzuwenden.
- 9) Einzelne Saccharomycespezies, unzweifelhaft z. B. *Saccharomyces membranaefaciens* und *Mycoderma*, der bekannte Weinkahm, sind zur Alkoholgärung nicht befähigt, sondern vollziehen andere mehr oxydierende Umsetzungen, die noch nicht alle studiert sind.
- 10) Ähnlich verhalten sich auch die alkoholischen Hefepilze, wenn man sie an der Oberfläche der halbvergorenen Flüssigkeit erzieht. In allen Fällen ist auch hier mit der Sauerstoffatmung eine Neigung zur Längsstreckung, manchmal zu einer wahren Mycelbildung sich steigernd, vorhanden.

Ausser der botanischen Natur und namentlich nach Feststellung derselben hat natürlich die chemische Zusammensetzung der Hefe ein hohes Interesse für uns. Wir werden sehen, dass wir in dieser im allgemeinen die Bestandteile antreffen, welche wir auch sonst als für die Pflanzenwelt charakteristisch kennen, Zellhäute, von der Zusammensetzung eines Kohlenhydrats, protoplasmatischen Zellinhalt von eiweissartiger Natur, untergeordnete Mengen von Fetten u. s. w., jedoch in ganz anderen Verhältnissen.

Es ist Schlossberger, welchem wir die ausführlichste Arbeit über die Zusammensetzung der alkoholischen Hefe verdanken, und seine Angaben sind es in erster Linie, welche hier zu reproduzieren sind. Die Analysen erstrecken sich hier auf obergärige und untergärige Formen der gewöhnlichen Bierhefe, die man durch Waschen und Beuteln möglichst frei von den verunreinigenden Bestandteilen der rohen Bierhefe zu erhalten gesucht hat. Auch die sonst vorhandenen Untersuchungen über die chemische Zusammensetzung der Hefepilze beschäftigen sich überwiegend mit der Bierhefe, hauptsächlich aus dem Grunde, weil die Weinhefe

stark durch Weinsteinablagerungen verunreinigt zu sein pflegt. Später hat man die durch Sieben gereinigte Branntweinhefe, z. B. sog. Presshefe des Handels, ins Bereich der Untersuchungen gezogen.

Weiter ist dann hier die Bemerkung vorzuschicken, dass Hefeanalysen erst in grösserem Maassstabe begonnen wurden, als man anfang, diese Bildung der Hauptsache nach als aus niedrigen Organismen bestehend zu betrachten; denn welches Interesse konnte es haben, eine, wie man glaubte, faulende, in steter Umsetzung begriffene Masse, die eben dadurch wirkte, dass sie diese Umsetzung auf andere Körper übertrug, auf ihre momentane und ganz zufällige Zusammensetzung zu untersuchen. Nicht als ob die betreffenden Analytiker unbedingte Anhänger der vitalen Gärungstheorie in dem Pasteur'schen Sinne gewesen sein müssten. Dies ist gerade bei Schlossberger und Mitscherlich, deren Arbeiten in erster Linie Beachtung verdienen, keineswegs der Fall. Allein beide standen doch so weit auf empirischem Boden, dass sie die Organisation anerkannten und derselben auch eine mittelbare Rolle bei der Gärungserregung zusprachen. Während der erstere im übrigen ein Anhänger der Liebig'schen Anschauung war und also ziemlich genau dessen späteren Standpunkt vom Jahre 1870 repräsentiert, liess Mitscherlich die lebenden Hefezellen durch Kontakt wirken, huldigte also im Grunde auch einer ähnlichen Meinung.

Zunächst mögen Gesamtelementaranalysen der gereinigten Hefesubstanz hier Platz finden:

<i>Oberhefe</i> (Schlossberger)		<i>Unterhefe</i> (Schlossberger)	
(Durchschnitt zweier Analysen)		(andere Probe) (Durchschnitt zweier Analysen)	
C	49,9 %		48,0 %
H	6,6 "		6,5 "
N	12,1 "	11,6 %	9,8 "
O	31,4 "		35,7 "
2,5 % Asche abgerechnet.		3,5 % Asche abgerechnet.	

Hiermit stimmt die Analyse Mitscherlich's, in welcher die Aschenbestandteile nicht abgerechnet sind und auch auf den Schwefelgehalt der Hefe Rücksicht genommen wird, recht gut überein, ebenso die von Mulder und Wagner. Dieselben fanden:

<i>Oberhefe</i> (Mitsch.)	<i>Oberhefe</i> (Mulder)	<i>Oberhefe</i> (Wagner)	<i>Unterhefe</i> (Wagner)
C 47,0 %	50,8 %	49,8 %	44,4 %
H 6,6 "	7,2 "	6,8 "	6,0 "
N 10,0 "	11,1 "	9,2 "	9,2 "
S 0,6 "		(Asche nicht abgerechnet).	

Die Hefe ist mithin ein Organismus von sehr hohem Stickstoffgehalt, 9—12 %. Wenn wir den ganzen Stickstoff auf Eiweissstoffe deuten — was nicht weitab ist von der Wahrheit —, so berechnen sich dieselben auf etwa 60 % der organischen Trockensubstanz.

Dieser Gehalt an Proteinstoffen scheint in verschiedenen Sorten Bierhefe nicht sehr verschieden zu sein. Hefe, die längere Zeit in Berührung mit Bier, wobei sie durch osmotische Vorgänge einen Teil ihrer stickstoffreichen Inhaltsstoffe an die um-

gebende Flüssigkeit abgiebt, gestanden hatte, fand Schlossberger etwas ärmer an Stickstoff.

Bemerkenswert ist auch, dass wenigstens nach den Analysen von Schlossberger der Kohlenstoffgehalt der Hefe mit deren Stickstoffgehalt zu steigen und zu fallen pflegt, was sehr erklärlich erscheint, da die Proteinstoffe auch kohlenstoffreicher sind als die Cellulose, der andere Hauptbestandteil der Hefezellen.

Wie eine oben angeführte Analyse nachweist, hat auch Mitscherlich (nach einer mit grosser Vorsicht gehandhabten Methode) nur eine kleine Menge Schwefel vorgefunden, die ohne Zweifel den Proteinstoffen des Hefeinhalts angehört, da sie zu der Menge des Stickstoffs in einem bei eiweissartigen Körpern gewöhnlichen Verhältnisse steht.

Schlossberger hat nun auch versucht, die Hefezellen in ihre näheren Bestandteile zu zerlegen. Durch Behandeln mit sehr verdünnter Kalilauge und nachheriges Fällen des Auszugs durch Säuren gelang es ihm, *die eiweissartigen Inhaltsstoffe* einigermaassen „rein“ zu gewinnen. Die Elementaranalyse dieser Substanz ergab:

(Durchschnitt zweier Analysen)

C	55,5 %
H	7,5 „
N	13,9 „

Das übrige muss als Sauerstoff in Anspruch genommen werden, da die Substanz sich als aschenfrei erwies und nach Schlossberger's Angabe auch keinen Schwefel mehr enthielt. Der Stickstoffgehalt erscheint für einen reinen Proteinkörper etwas zu gering, so dass der Versuchsansteller selbst an eine teilweise Zersetzung unter dem Einflusse des Kalis denkt. Mulder hat in der That durch Verwendung von Essigsäure und nachherige Fällung durch kohlensaures Ammoniak eine den Proteinstoffen näherstehende Zusammensetzung ermittelt, nämlich:

C	53,0 %
H	7,0 „
N	16,0 „

Jedenfalls haben wir es, schon nach diesen älteren Analysen, in der Hauptmenge des Hefezellinhaltes mit einem der Proteingruppe zugehörigen Körper zu thun.

Die Reindarstellung der Cellulose andererseits geschah durch Behandeln mit Kalilösung, dann mit Essigsäure und Wasser, so lange bis nichts mehr aufgenommen wurde.

Die Analyse ergab nach Abzug von 1 % Asche:

(Durchschnitt zweier Analysen)

C	44,9 %
H	6,7 „
N	0,5 „

hatte also in der That die Zusammensetzung der Cellulose nur durch noch anhaftende Proteinstoffe*) verunreinigt. Mulder will die Substanz ganz stickstofffrei erhalten haben, fand aber eine etwas kleinere Menge von Wasserstoff. Von Wichtigkeit ist noch die Angabe Schlossberger's, dass die Hefecellulose ebenso wie die ent-

*) Oder Chitin; siehe die folgende Seite.

sprechende Bildung bei den höheren Gewächsen durch Kochen mit Schwefelsäure in Zucker übergeführt werden konnte, dessen Gärungsvermögen noch zum Überflusse nachgewiesen wurde*).

Aus der Vergleichung der Analyse der Hauptkonstituenten der Hefezellen mit der dieser Zellen selbst ergibt sich dann unter der Voraussetzung, dass sich keine anderen Stoffe in erheblicher Menge an der Zusammensetzung der Zellen beteiligen, etwa 60% Proteinstoffe und nahezu 40% an Cellulose. Eine so grosse Menge von Cellulose hat man nun aus frischer Hefe niemals erhalten können, sondern im höchsten Falle wie nach den Angaben von Payen nur etwa 30%, d. i. 32% nach Abrechnung der Aschenbestandteile. Überhaupt macht dieser Forscher für die Konstitution der Hefe aus Einzelsubstanzen folgende Angaben:

stickstoffhaltige (eiweissartige) Substanz	62,7 %
Cellulose	29,4 „
Fette	2,1 „
Asche	5,8 „

Für grössere Hutzpilze ergibt die Analyse z. T. einen beinahe ebenso grossen Gehalt an Proteinstoffen.

Andere Experimentatoren, welche sich der für die höheren Gewächse bewährten Methoden bedienten, so Pasteur, haben in frischer Bierhefe selbst nur 18,5% Cellulose gefunden. Ganz ähnliche Zahlen wurden später auch im Liebig'schen Laboratorium erhalten.

Neuere Studien über die Zusammensetzung der Cellulose der Pilze machen es wahrscheinlich, dass derselben in den Zellhäuten der bekannte stickstoffhaltige Baustoff der Insektenhüllen, das *Chitin*, beigemengt sei**).

Nach sorgfältigerer Methode sind grossenteils durch Nägeli***) und seine Assistenten für untergärige Hefe mit 8% Stickstoff folgende Resultate erhalten worden:

*) So die Angabe Schlossberger's. Thatsächlich ist die eigentliche Cellulose des Chemikers (wohl zu unterscheiden von der Zellhaut, welche einen anatomischen Begriff darstellt) resistent gegen ganz verdünnte Schwefelsäure; darauf beruht ja die Gewinnung der Rohfaser bei der Futtermittelanalyse. Wenn sich trotzdem in unsern Lehrbüchern der organischen Chemie die Angabe findet, durch Kochen mit Schwefelsäure könne aus Cellulose Zucker erhalten werden, so ist dies teilweise für Anwendung konzentrierterer Säuren richtig, teilweise so zu erklären, dass man durch Behandeln von natürlichen Zellhäuten mit allen ihren Verunreinigungen (z. B. Galactan, vergl. p. 128 des ersten Teils dieses Buches) mit 5% Schwefelsäure thatsächlich etwas Zucker erhält. — Die Hefecellulose ist nun von der Cellulose der höheren Gewächse etwas abweichend konstituiert, wie sie sich ja auch nicht in Kupferoxydammoniak (Liebig) löst, und scheint durch verdünnte Säuren stark angegriffen zu werden. So erklärt sich einerseits die Angabe Schlossberger's und eine gleich zu erwähnende seitens Pasteur, als auch die Thatsache, dass man nach den gewöhnlichen Methoden der Cellulosedarstellung weit weniger an diesem Stoffe erhält, als nach den Zahlen der Gesamtanalyse sich berechnet.

**) Vergl. Winterstein: Chem. Ber., 1895, p. 168. Die Pilzcellulose schliesst diesen Untersuchungen zufolge nicht unbedeutliche, aber in den einzelnen Fällen sehr wechselnde Mengen von Chitin ein. Vergl. auch Winterstein: Ber. d. d. botan. Gesellsch., XIII, p. 68, und Gilson hat übereinstimmende Beobachtungen gemacht.

***) Sitzungsber. d. königl. bayr. Akad. d. Wissensch., 1878, Mai 4.

Cellulose und Pflanzenschleim der Zellmembran	37 %
Albuminstoffe, darunter Nuclein (vielleicht aus dem Zellkern)	45 "
Peptone	2 "
Fett	5 "
Extraktstoffe (als Leucin und andere amidoartige, ferner Dextrose, Glycerin, Bernsteinsäure)	4 "
Asche	7 "

Nach anderen Untersuchungen muss ein Teil der als „Fett“ angesprochenen Masse als Cholesterin bezeichnet werden und auch Glycogen*) in der Hefe anwesend sein.

Der durch langdauerndes Behandeln der Hefe mit kochendem Wasser zu gewinnende Pflanzenschleim enthält 41,4 % Kohlenstoff, 6,6 % Wasserstoff und zeigt eine spezifische Drehung von $+78^{\circ}$, ist mithin eine Art Dextrin.

Wir haben uns also die Beteiligung der verschiedenen organischen Körper an dem Aufbau der Hefezellen so zu denken, dass neben der eigentlichen Cellulose, welche sich verdünnten Säuren und Alkalien gegenüber ziemlich resistent erweist, noch sehr ansehnliche Mengen anderer Stoffe leichter angreifbarer Natur von der Zusammensetzung der Kohlenhydrate, offenbar dextringummiartige Stoffe an dem Aufbau der Hefezellen partizipieren. Es weisen hierauf ausser den neueren Nägeli'schen Versuchen auch gewisse Erfahrungen über die Grösse der Alkoholproduktion bei der sog. Selbstgärung der Hefe hin**).

Auch über den Aschengehalt und die Aschenzusammensetzung der Bierhefe liegen zahlreiche Angaben von verschiedenen Forschern, besonders von Mitscherlich, vor. Die Angaben über die erstere Grösse sind sehr verschiedenartig, wie folgende Zusammenstellung zeigt:

<i>Aschengehalt der trockenen Hefe.</i>					
<i>Oberhefe</i>	<i>Unterhefe</i>	<i>Oberhefe</i>	<i>Oberhefe</i>	<i>Unterhefe</i>	<i>Unterhefe</i>
(Schlossberger u. Wagner)	(Schlossberger)	(Bull)	(Mitsch.)	(Mitsch.)	(Wagner)
2,5 %	3,5—4 %	8,9 %	7,7 %	7,5 %	5,3 %.

Da die Ermittlung des Aschengehalts keinerlei Schwierigkeiten darbietet, so scheinen die konstatierten Unterschiede wirklich der Natur der Dinge zu entsprechen.

Natürlich ist aber ein Teil der Unterschiede auf die vorausgehende Präparierung zu setzen. Schlossberger, der den niedrigsten Aschengehalt beobachtet hat, wusch seine Hefe und es ist bekannt, dass dieselbe grosse Mengen von Phosphaten an das Waschwasser abgibt. Andere haben vermutlich solche Reinigungsmethoden unterlassen und vielleicht Substanzen analysiert, welche andere aus dem Biere sich ab-

*) Errera: Compt. rend., 101, p. 253. Interessant ist der Nachweis, dass dieses Glycogen, wenn die Hefe daran erschöpft ist, durch die gärunsfähigen Zuckerarten wieder ergänzt wird, nicht durch andere Körper. Vergl. Cremer: Zeitschr. f. Biologie, 31, 1894.

**) Vergl. hierüber meine Ausführungen: Landw. Versuchszt., B. 14, p. 60 u. ff. Auch hat Pasteur durch Kochen von Hefe mit verdünnter Schwefelsäure 20 % Zucker erhalten (Compt. rend., T. 48, p. 640), die doch wohl nur z. T. von umgewandelter Pilzcellulose herrühren.

scheidende, möglicherweise aschenreichere Stoffe neben den eigentlichen Hefezellen eingeschlossen.

Auch über die Zusammensetzung der Bierhefenasche liegen uns mehrere Angaben vor, die hier reproduziert werden mögen.

	Oberhefe	Unterhefe	Oberhefe von Weissbier	Hefe (?)*)		Bierhefe
	Mitscherlich		Bull			Béchamp
Phosphorsäure	53,9 %	59,4 %	54,7 %	44,8	48,5	54 — 58
Kali	39,8 „	28,3 „	35,2 „	29,1	30,6	29 — 31
Natron	—	—	0,5 „	2,5	—	0,8 — 1,9
Magnesia	6,0 „	8,1 „	4,1 „	4,1	4,2	4 — 7
Kalk	1,0 „	4,3 „	4,5 „	2,4	2,1	1,6 — 2,5
Kieselsäure	Spur	—	—	14,4	—	Spur
Eisenoxyd	—	—	0,6 „	2,1	—	0,8 — 7,3
Schwefelsäure**)	—	—	—			5 — 6
Chlor	—	—	0,1 „			—

Man erkennt aus den übereinstimmenden Angaben der verschiedenen Analysen, dass die hervorragendsten Aschenbestandteile der Hefezellen Kali und Phosphorsäure sind, zwei auch für alle höheren Organismen durchaus unentbehrliche und mit wichtigen physiologischen Funktionen betraute Bestandteile. Auch in anderen Pilzen sind ähnliche Mengen von Kali und Phosphorsäure gefunden worden***). Ausserdem tritt noch die Magnesia in den Vordergrund. Der hohe Kieselsäuregehalt in der einen Analyse rührt jedenfalls von Verunreinigungen her. Wir werden in einer der nächsten Vorlesungen bei Besprechung der Ernährung der Hefepilze auf diese That-sachen zurückkommen, die hinsichtlich des Bedürfnisses an Mineralbestandteilen schon wichtige Andeutungen geben.

Was die Verteilung der Aschenbestandteile auf Zellwand und Zellinhalt des Hefepilzes angeht, so ist einstweilen nur so viel bekannt, dass die Asche des Auslaugewassers der Hefe alkalisch, die des Auslaugerückstandes sauer reagiert, woraus gewisse Schlüsse auf diese Verteilung gemacht werden können (Schützenberger).

Ferner sind z. T. genauer untersucht die organischen Stoffe, welche in Wasser verteilte Hefe langsam an dieses abgibt. Hierin ist durch Nägeli und Loew ausser Pflanzenschleim (Dextrin) und Pepton, die schon in der ursprünglichen Hefemasse nachweisbar waren, hauptsächlich gefunden: Leucin, Guanin, Xanthin, Sarkin. Von derartigen Umsetzungsprodukten wird später im Zusammenhang mit anderen Gegenständen noch einmal die Rede sein.

*) Vgl. Liebig: Über Gärung etc., 1870, p. 11; auch Béchamp: Compt. rend., T. 73, p. 340. Nach Analysen von Bürklin (Bierbrauer, 1873, Nr. 16 u. 17) ist bei lange in derselben Brauerei gebrauchter Hefe eine Abnahme an Phosphorsäure gefunden worden.

**) Schwefelsäure wurde trotz dem Schwefelgehalt der Hefe mehrfach nicht oder nur in so geringer Menge vorgefunden, weil die in der Asche enthaltenen sauren Phosphate die schwächeren Säuren z. T. austreiben. Bei der Béchamp'schen Veraschungsmethode ist dieser Fehler vermieden.

***) Vgl. Liebig: A. a. O.

Neben der Zusammensetzung der frischen Hefe nehmen auch die *Produkte der Fäulnis* derselben einiges Interesse in Anspruch, nicht bloss, weil wir aus diesen für die chemische Konstitution der Hefepilze Aufschluss erwarten können, sondern auch, weil Hefefäulnis nicht gar selten in gegorenen Flüssigkeiten, die wie der Wein oft sehr lange Zeit mit der Hefe in Berührung bleiben, stattfindet und dadurch natürlich die entstandenen Produkte erheblich in ihren Eigenschaften alteriert werden.

Zunächst geht, aber dies ist wohl noch ein vitaler Prozess, die Cellulose von in Flüssigkeiten ruhender Hefe mehr und mehr in Schleim über*).

Wir verdanken ferner Alexander Müller eine ziemlich eingehende Arbeit**) über die eigentlichen Fäulnisprodukte der Hefe.

Einmal treten nach diesen Mitteilungen wie bei der Fäulnis anderer proteinartiger Stoffe *flüchtige Fettsäuren* in grösserer Menge auf. Diesen Stoffen verdanken überhaupt gefaulte Substanzen, z. B. auch Fäkalmassen, grossenteils die Gerüche, welche, so lange deren saure Reaktion dauert, auftreten. Es gelang Müller, durch Destillation des mit Kalkhydrat gefällten Extraktes der gefaulten Hefe über Schwefelsäure und Reindarstellung der in dem Destillat enthaltenen Säuren durch deren Bindung an Baryt, Natron und Silberoxyd folgende Stoffe zu isolieren:

Essigsäure in grösseren Mengen, *Buttersäure* ebenfalls in bedeutenden Mengen, ebenso *Caprylsäure*, einige noch höhere Fettsäuren und auch Ameisensäure in sehr geringen Verhältnissen oder zweifelhaften Spuren.

Ferner spielen dann die *Ammoniakbasen* unter den Fäulnisprodukten eine hervorragende Rolle. Diese sind es, deren Gerüche für gefaulte Körper alkalischer Reaktion charakteristisch sind. Während frisch entleerte Fäkalmassen uns eine Vorstellung geben von dem nicht sehr starken, aber äusserst ekelhaften Gerüche der flüchtigen Fettsäuren, kann hier Heringslake als Repräsentant gelten. Zu der Gewinnung dieser organischen Ammoniakbasen wurde das von der Kalkfällung des Extraktes übrig bleibende Filtrat genommen, dasselbe destilliert und die basischen Körper in Salzsäure aufgefangen, dann weiteren Reinigungsmethoden unterworfen. Auf diese Weise wurden aufgefunden:

Trimethylamin, *Äthylamin* (wenigstens mit Wahrscheinlichkeit), *Amylamin* und *Caprylamin*, also die Ammoniakbasen beinahe derselben homologen Alkoholradikale, deren dazu gehörige Säuren ebenfalls nachgewiesen werden konnten.

Es ist hierbei darauf hinzuweisen, dass Methylamin auch in Weinen aufgefunden worden ist***). Für seine Entstehungsweise in denselben ist hier ein deutlicher Fingerzeig gegeben.

Ferner wurde von Müller noch das gewöhnliche (nicht substituierte) Ammoniak aufgefunden, dann auch Milchsäure, die freilich ein Produkt einer Milchsäuregärung sein könnte. Wie häufig gewöhnliche rohe Bierhefe Milchsäure erzeugende Organismen in sich einschliesst, darauf ist schon hingewiesen worden. Auch Tyrosin, welches in kreidehaltigen Massen direkt aus der gefaulten Hefe auskrystallisiert,

*) Hansen: Botan. Centralbl., 1885.

**) Journ. f. prakt. Chem., B. 70, p. 65.

***). Vgl. Ludwig: Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. zu Wien, B. 56, Juli 1867.

und ebenso Leucin sind nachgewiesen worden. Dieselben sind bekanntlich gewöhnliche Fäulnisprodukte und auch Erzeugnisse sonstiger energischen Zersetzungen (Kochen mit Schwefelsäure) von allen möglichen Proteinstoffen. Endlich wurde auch das Auftreten von fuselartigen Produkten bei der Fäulnis der Hefe beobachtet, und da der wesentlichste Bestandteil der sogenannten Fuselöle Amylalkohol ist, auch die Entstehung dieses Körpers als Fäulnisprodukt der Hefe erklärt. Es wäre natürlich von grosser Wichtigkeit, zu wissen, ob die unliebsamen Fuselöle keine wirklichen Produkte von eigentlichen, neben der alkoholischen Gärung herlaufenden Gärungserscheinungen sind, oder ob erst bei der Fäulnis der Hefe diese Körper auftreten. Obgleich die Müller'schen Versuche auf das letztere hindeuten, so können dieselben doch nicht als eigentliche Belege für diese, unseren sonstigen Erfahrungen in dieser Richtung, wie ich glaube, widerstreitende Anschauung gelten.

Was das Leucin betrifft, so ist darauf hinzudeuten, dass dasselbe die Amidosäure der Capronsäure, also einer der aufgefundenen Buttersäure und Caprylsäure nahestehenden Fettsäure ist, dem die Formel zukommt $C_6H_{10}(NH_2)O_2H$. Es ist also begreiflich, wie das Leucin eine Übergangsstufe darstellen kann für die Entstehung von Fettsäuren aus Proteinstoffen, wenn freilich auch die zugehörige Fettsäure gerade nicht speziell unter den Fäulnisprodukten der Hefe aufgefunden worden ist.

Wir haben die eben vorgenommenen Betrachtungen über Hefezusammensetzung an diesem Orte wesentlich aus dem Grunde vorgetragen, um die wichtige Lehre von der Ernährung der Hefepilze während der alkoholischen Gärung daran anzuknüpfen. Wenn die Organismen, in deren Entwicklung das Stattfinden des Gärungsprozesses ursächlich begründet ist, aus bestimmten Stoffen zusammengesetzt sind, so muss eine vergärbare Flüssigkeit die Quelle sein für das Vorhandensein eines jeden einzelnen jener Stoffe.

Nur eine Erörterung ist, um diese Schlussfolgerung vollständig zu machen, noch notwendig. Wir müssen uns darüber auseinandersetzen, inwieweit Hefevermehrung und Gärung notwendig zusammengehören. Nach unseren bisherigen Betrachtungen erscheint es allerdings so, als ob Hefevermehrung der Gärungsintensität notwendig beinahe proportional erfolgen müsse, und dann wäre dem Gesagten nichts anderes mehr hinzuzusetzen, die Art und Weise der Hefeernährung wäre für jeden einzelnen Elementarbestandteil des Pilzes unmittelbar aus dessen Analyse abzuleiten.

Wir werden nun aber später Thatsachen kennen lernen, für deren historisches Verständnis hier der Zeitpunkt noch nicht gekommen ist, aus welchen hervorgeht, dass, so notwendig die physiologische Erscheinung der Gärung auch an eine vorausgehende Entwicklung des sie veranlassenden Organismus geknüpft ist, doch der Augenblick eines stärksten Zuckerzerfalls nicht mit dem Augenblicke einer stärksten Zellenvermehrung zusammenzufallen braucht.

Aber wir wollen dem Gange der Ereignisse nicht vorgreifen, und auch hier die Anschauungen auseinander zu entwickeln suchen, wie sie sich in den Köpfen der Forscher thatsächlich auseinander entwickelt haben.

Schon früher waren aus den Arbeiten Thenard's und dann namentlich auch aus denen Pasteur's ganze Reihen von Gärungsverläufen bekannt, die mit einem

absoluten *Verluste von Hefesubstanz* abschlossen, der in mehreren Fällen gar nicht unbedeutend zu nennen ist. Es war allerdings zu beachten, dass neben dem Aufbau von Hefesubstanz ein Zerfall von solcher nebenher laufen konnte, sei es durch fäulnisartige Prozesse, wie sie z. B. nachgewiesenermaassen die Weinhefe, noch überdeckt mit Wein, bisweilen erleidet, sei es durch den Prozess der „Selbstgärung“ der Hefe, der am Schlusse der Zuckervergärung bei Mangel an diesem Nahrungsstoff unter sonst günstigen Gärungsbedingungen ganz regelmässig eintritt. Aber durch diese Vorgänge war die von uns ins Auge gefasste Erscheinung keineswegs vollständig erklärt, denn es sind der Beispiele genug verzeichnet, wo bei einem grossen Überschusse an Zucker doch Hefeverminderung eintrat, so dass also von Selbstgärung so wenig als von Fäulnis die Rede sein konnte. Für diese Fälle einfach zu sagen, der unter diesen Umständen durchaus hypothetische Zerfall der Hefe habe weit die Neubildung derselben überholt, wäre angesichts der entgegengesetzten Sachlage in so viel anderen Fällen offenbar sehr willkürlich gewesen.

Suchen wir zunächst die hierher gehörigen Fälle aus den Arbeiten Pasteur's auf. Derselbe machte bei Überblickung derselben selbst auf den Umstand aufmerksam, dass alle Beispiele von scheinbarer Hefeverminderung solche sind, in denen das Gewicht der angewandten breiigen Hefe mehr wie 15 % des zugesetzten Zuckers ausmacht, und kam gerade aus diesem Grunde zu einer Anschauung, die eine Zeit lang die herrschende war. Seine Angaben, auf 100 Teile Zucker reduziert, sind folgende*):

A. frische Hefe.	B. trockene Hefe.	Nach der Gärung.		C+D—B. +
		C. Hefe.	D. Extrakt.	
20,000	4,626	3,230	2,320	0,924
20,000	4,426	4,002	1,638	1,214
13,700	2,626	2,965	0,964	1,303
10,000	2,313	2,486	1,080	1,253
9,390	2,380	2,950	0,665	1,235
6,254	1,198	1,700	0,631	1,133

*) Ann. d. chim. et physiq. (3), T. 58, p. 401. Hiermit stimmen auch einige Angaben Duclaux's in betreff der Hefegewichtsveränderung nach der Gärung ungefähr überein, welche in derselben Weise dargestellt, sich folgendermaassen präsentieren:

Auf 100 Teile Zucker		nach der Gärung Hefe
frische,	trockene Hefe	
100	17,32	14,02
50	8,66	8,51
25	4,33	4,78
12,5	2,16	2,68

Hier scheint, nach der frischen Hefe gemessen, jene Grenze allerdings beträchtlich höher zu liegen. Es bleibt aber zu beachten, dass die von Duclaux verwendete Hefe etwas ärmer an Trockensubstanz war als die Pasteur'sche, so dass sich dadurch die Resultate der Beobachtungen etwas näher rücken. (Vgl. Duclaux: Thèses, présentées à la faculté des sciences de Paris, 1865, p. 44.) In seinen übrigen Zahlen hat Duclaux fast immer Hefevermehrung gefunden, auch wenn verhältnismässig viel Hefe angewendet wurde, so dass er eine an Extraktstoffen ärmere Hefe zu seinen Versuchen verwendet zu haben scheint.

Die rohe Hefe, wie sie zu den Versuchen verwendet wurde, enthielt eine gewisse Menge von Extraktbestandteilen, die nicht mitgesammelt wurden, wenn man die Hefe in der vergorenen Flüssigkeit durch Abfiltrieren bestimmte. Wenn man dagegen die Extraktbestandteile der vergorenen Flüssigkeit nach Gewinnung von Bernsteinsäure und Glycerin zu der Menge von gewonnener Hefe addiert, so erhält man immer einen Überschuss, der nach der älteren Auffassung für die in allen Fällen stattgefundene Neubildung von Hefe sprach. Nun war es allerdings durchaus nicht erwiesen, dass jene Extraktivstoffe alle der rohen Hefe entstammen; es könnten dieselben Stoffwechselprodukte des Hefeorganismus sein, die wir noch nicht gelernt haben, wie die Bernsteinsäure und das Glycerin zu gewinnen. Doch war die so gewonnene *Extraktmenge* (einige Schwankungen unberücksichtigt gelassen) *der angewendeten Hefemenge proportional und nicht der Menge des vergorenen Zuckers*; und der Überschuss, der sich ergab, wenn man jenen Extrakt als zu den Bestandteilen der rohen Hefe gehörig in Anspruch nimmt (vgl. Kolonne C+D—B), war in allen Fällen einander nahezu gleich, was für einen regelmässigen Zuwachs der Hefe proportional der Menge des vergorenen Zuckers spricht.

Versuche von andern schienen die Annahme Pasteur's zu bestätigen, dass der scheinbare Verlust an Hefe bei Gärungen mit viel Hefe von dem Extraktgehalt der zugesetzten Hefe herrührt, indem derselbe beim Aufsammeln der Hefe nach der Gärung nicht wieder mitgewonnen wird, dass aber *bei keiner Gärung an sich eine wirkliche Verminderung von organisierter Hefesubstanz eintritt*, wie dies früher das Resultat des bekannten Thénard'schen Versuchs wahrscheinlich gemacht hatte.

Vielleicht ist es auch schon an dieser Stelle nicht uninteressant zu erörtern, wie gross der während der alkoholischen Gärung in der Regel erfolgende Zuwachs an organisierter Hefesubstanz zu sein pflegt. Es ist dies ein Gegenstand, dem wir später sogar ein tieferes theoretisches Interesse abzugewinnen suchen werden.

Schon aus den vorhin mitgeteilten, freilich willkürlich interpretierten Pasteur'schen Versuchsergebnissen scheint hervorzugehen, dass ein regelmässiger Zuwachs von Hefesubstanz einer bestimmten Menge vergorenen Zuckers entspricht, und es ist nicht ganz unthunlich, den ungefähren Prozentsatz dieses Zuwachses zu berechnen. Bessere und unzweideutigere Anhaltspunkte in dieser Richtung gewähren uns allerdings die Versuche, bei welchen eine quantitativ zu vernachlässigende Spur von Hefe zur Erregung der Gärung verwendet wurde*). Es zeigte sich auf diese Weise eine bemerkenswerte Konstanz des Verhältnisses von neugebildeter Hefesubstanz zu umgesetztem Zucker, eine Konstanz, die für ziemlich verschiedene Lebensbedingungen und zumal Ernährungsverhältnisse des Pilzes Geltung zu behalten schien**).

*) Aus Gründen, die aus den eben angeführten Versuchsergebnissen erhellen.

**) Soweit sich meine eigenen Versuche auf dieses Gebiet erstrecken, habe ich, bezogen auf den neugebildeten Alkohol, 1,38—2,03% trockene Hefesubstanz gefunden. (Vgl. landw. Versuchsst., B. 16, p. 301.) Aus den Pasteur'schen Versuchen ergeben sich 1,0—1,7%, und in einer spezielleren Reihe von Fällen 1,2—1,5% Hefe, bezogen auf den vergorenen Zucker, d. i. etwa 2,0—3,4% vom gebildeten Alkohol, also etwas höhere Zahlen. (Vgl. Ann. d. chim. et physiq. (3), T. 58, p. 356, 401, 404.) Nur C. Schmidt hat (Annal. d. Chem. u. Pharm., B. 61, p. 172) eine etwas grössere Hefevermehrung angetroffen. Auch die von Fitz

Allein dieser Verallgemeinerung standen doch auch schon damals sehr wichtige Thatsachen, zunächst aus der Praxis der Hefefabrikation, entgegen. Angaben aus Hefefabriken lauten dahin, dass dem Gewichte nach beinahe ebensoviel Presshefe gewonnen werden kann als Spiritus, und wenn diese Presshefe auch sehr viel wasserhaltiger ist als der Spiritus und dazu noch z. T. mit Stärkemehl versetzt und beschwert sein mag, so waren doch diese Zahlen unter keinen Umständen mit den Resultaten im kleinen von Pasteur und anderen in Übereinstimmung zu bringen*).

(Berliner Berichte, 1873, Februar, p. 56) für die Vermehrung von Mucorhefe gelieferte Zahl 1,93 % des umgesetzten Zuckers, also etwa 3,9 % des gebildeten Alkohols würde noch ziemlich mit den andern stimmen, namentlich wenn man dessen Bemerkung berücksichtigt, dass diese Grösse beeinflusst wird durch die bei Anwesenheit von Sauerstoff begünstigten Mycelvegetationen des Pilzes. Hiernach könnte man wohl geneigt sein, den ganz allgemeinen Ausspruch zu thun, dass bei der alkoholischen Gärung die Zerspaltung des Zuckers in Alkohol und Kohlensäure fast genau proportional erfolge der Neubildung von Hefesubstanz, gleichviel welcher Organismus immer gerade diese Hefe abgibt, und wie die Ernährungsbedingungen desselben sind, und dass das Verhältnis etwa schwanke von 1,5—3 % Hefesubstanz vom neu-gebildeten Alkohol, also im Maximum das Doppelte vom Minimum.

*) Nach den Lehrbüchern über Spiritus- und Presshefefabrikation gewinnt man aus dem Getreideschrote 10 und mehr % Hefe von nur 50—60 % Wassergehalt und frei von Stärkemehl, woraus das Nichtstatthaben des von uns im kleinen so regelmässig konstatierten Verhältnisses ohne weiteres hervorleuchtet. Auf den Alkohol berechnen Märcker und Schulze sogar 28,6 % trockener Hefe. Ja man spricht in solchen Werken geradezu den Satz aus, dass die Hefeherzeugung nicht abhängig sei von der zersetzten Zuckermenge, sondern im Gegenteil von der sonstigen Hefepilznährung, namentlich durch stickstoffhaltige Stoffe. Oder wenn — wie dies von Balling geschieht — die Menge der neuerzeugten Hefe als abhängig vom umgesetzten Zucker erachtet wird, so ist doch das Verhältnis ein ungleich viel engeres als das durch die soeben produzierten Versuche gefundene, nämlich 11 % trockener Hefe, was auf den erzeugten Alkohol berechnet also mindestens das Siebenfache von jenem beträgt. — Hierzu kam noch die bekannte, aber ebenfalls noch nicht in dieser Richtung erörterte Erfahrung bei der Weingärung, dass hier die resultierende Hefe auch einen sehr grossen Bruchteil bildet von der Menge des umgesetzten Zuckers, so wenig auch gerade exakte Zahlen für diesen Zweck zu Gebote stehen mochten. So fand Blankenhorn bei Lüftungsversuchen auf 31 ℔ während der Gärung entwickelter Kohlensäure 14 ℔ breiiger Hefe und ähnliche Verhältnisse (Annal. d. Önologie, I, p. 27, 217). Auf diesen merkwürdigen Widerspruch schon aufmerksam geworden, hatte ich denselben auch zum Gegenstand einer experimentellen Erörterung gemacht (Landw. Versuchsst., B. 16, p. 304). Ich war dabei von der gewonnenen Anschauung ausgegangen, dass die Flüssigkeiten, wie sie sich in den Gärungsgewerben der alkoholischen Gärung darbieten, doch in irgend einem wesentlichen Punkte anders zusammengesetzt sein möchten, wie die künstlichen zu exakten Versuchen benutzten Kompositionen, und dass infolge hiervon eben jenes Verhältnis sich anders herausstellte. So wurden zunächst zwei Versuche mit ausgekochtem Traubenmost angestellt, der in der Menge von 190 ccm durch Hefepilzaussaat in Gärung versetzt wurde. In einem Falle geschah die Aussaat durch eine unwägbare Menge von frischer Weinhefe, die, soweit man das damals bestimmen konnte, ganz vorwiegend aus *Saccharomyces ellipsoideus* bestand, in einem andern Falle durch gewöhnliche Bierhefe, ebenfalls in sehr geringen Mengen. Die Gärung trat in beiden Fällen bei Zimmertemperatur rasch ein und wurde im zweiten Falle innerhalb weniger Wochen bis auf geringe, kaum nachweisbare Reste von Zucker zu Ende geführt, während die Mostgärung mittelst Weinhefepilzvegetation in derselben Zeit etwas unvollständiger abgelaufen war.

Das Resultat bezüglich Zuckerumsatz und Hefebildung war:

Der so sich ergebende Widerspruch wurde später teilweise erklärt durch neben der eigentlichen Ernährung des Hefepilzes auch die Atmung desselben in Betracht zu ziehen. Wir werden später diesem Gegenstand einen eigenen Abschnitt widmen. Heute ist soviel zu bemerken, dass die Ursache der unter so verschiedenen Umständen so ungleichen Hefevermehrung allerdings auch gesucht werden muss in der Ernährung, aber nicht in der Ernährung im engeren Sinne des Wortes, sondern so, dass wir auch die Sauerstoffzufuhr als einen Teil dieser Ernährung betrachten. So gewiss Hefevermehrung auch bei Abschluss von freiem Sauerstoff stattfinden kann, so gewiss wird, wie wir später sehen werden, eine reichliche Vermehrung des Pilzes, wie durch eine günstige Gestaltung der anderen Ernährungsverhältnisse, so auch durch die Ermöglichung einer echten Atmung befördert. Andererseits kann auch die nicht mehr wachsende Hefe unter kontinuierlicher Abschwächung ihrer Lebensenergie noch längere Zeit Gärung erregen. Die Fälle der reichlichen Hefevermehrung scheinen mithin die zu sein, wo (wohlverstanden neben genügender sonstigen Ernährung) auch reichliche Sauerstoffaufnahme ermöglicht wird. Widersprechende Versuche bei reichlicher Luftzufuhr sind einstweilen so zu erklären, dass sonst die Ernährung irgendwie behindert war.

Nach all' den Modifikationen, welche die Studien für die Bedingungen der Hefevermehrung gebracht haben, bleibt aber immer die Thatsache bestehen, dass in allen Fällen des praktischen Gärungsbetriebes eine Hefevermehrung stattfindet. So bei der Weinbereitung, wobei ein künstlicher Zusatz gar nicht stattfindet, also die ganze Masse der wirksamen Hefe während des Prozesses neu erzeugt werden muss, so bei der Branntweinbrennerei, bei welcher die Hefe häufig ein sehr wesentliches, verkäufliches Nebenprodukt bildet, so auch bei der Bierbrauerei, für welche teilweise dasselbe gilt. Ist nun auch Gärung unter künstlichen Verhältnissen möglich ohne gleichzeitige Hefevermehrung, so ist dies dann doch nur für kurze Zeit und unter Abschwächung der Gärkraft der Hefe der Fall, — so bleibt doch im grossen und ganzen und zumal für alle praktischen Vorkommnisse der alte Satz von der innigen Zusammenhanglichkeit von Gärung und Hefevermehrung bestehen.

Wir bedürfen nun nichts mehr als den Nachweis der Thatsache, dass die Heforganismen aus gewissen Stoffen zusammengesetzt sind, und dann andererseits, dass dieselben unter normalen Verhältnissen sich während der Gärung der Masse nach vermehren (nicht bloss auf Kosten ihrer eigenen Substanz Neubildungen vollziehen),

	Gewicht des erzeugten Alkohols	Gewicht der erzeugten Hefe	Verhältnis beider in Prozenten des Alkohols
I (<i>Sacch. ellips.</i>)	13,11 gr	2,38 gr	18,2%
II (<i>Sacch. cerev.</i>)	15,2 „	2,04 „	13,4 „.

Es wurden also weit höhere Verhältnisse von neugebildeter Hefe erzielt, als je in künstlichen Nährstoffgemischen weder von andern noch von mir beobachtet worden, und zwar Verhältnisse, die denen in der Praxis der Hefefabrikation aus Getreidemaische erzielten ähnlich sind. — Neubauer fand dagegen bei der Vergärung eines natürlichen Mostes je nach den äusseren Bedingungen, unter welchen er vergären liess (Lüftung mit verschiedenen Gasen), nur 2—4% Hefe vom umgesetzten Zucker. Vergl. Annalen d. Önologie, B. 4, p. 68.

um den Schluss zu machen, dass der Hefepilz in der Gärungsflüssigkeit ernährt werden muss, und zwar in Bezug auf alle diejenigen Substanzen ernährt werden muss, die als wesentliche Bestandteile desselben erscheinen. Wir wissen freilich im voraus nicht bestimmt, welche einzelnen Elemente seiner Substanz durch Ernährung stetig hinzugebracht werden müssen, und eben Ernährungsversuche selber konnten und können erst im einzelnen Falle den Nachweis dafür liefern, ob wir es wirklich mit wesentlichen Bestandteilen zu thun haben; allein für die in grösseren Mengen oder mit auffallender Regelmässigkeit an dem Aufbau unserer Organismen partizipierenden Substanzen hat doch eine derartige Schlussfolgerung schon eine erhebliche Sicherheit, ähnlich wie durch Analysen von Ernteprodukten unserer Kulturgewächse ein sehr brauchbares Präadvis in Bezug auf anzustellende Düngungsversuche erlangt wird.

Die eben gemachte Schlussfolgerung gilt in noch höherem Grade, wo man, wie dies in neuerer Zeit in der rationellen Bierbrauerei mit grosser Regelmässigkeit geschieht, verhältnismässig kleine Mengen besonders reiner Hefe sich während der Gärung ansehnlich vermehren lässt, ebenso für die Branntweinfabrikation beim Erzeugen der sogenannten Kunsthefe und endlich namentlich dann, wenn in der letzteren die Hefefabrikation geradezu Hauptzweck des Betriebes wird (Presshefeerzeugung).

Achte Vorlesung.

Die Ernährung der Hefepilze.

Rufen wir uns zu Beginn der heutigen Vorlesung die Zusammensetzung der Hefepilze in Bezug auf ihre einzelnen Elementarbestandteile ins Gedächtnis zurück. Organische Substanzen, stickstoffhaltige und stickstofffreie, treten in der Hefesubstanz der Masse nach am meisten in den Vordergrund. Also muss der Hefepilz für jene letzteren in Bezug auf Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, für jene ersteren auch noch in Bezug auf Stickstoff ernährt werden.

Betrachten wir zunächst heute die Art der Aufnahme der drei erstgenannten Elemente. Dieser Punkt braucht nicht Gegenstand einer längeren Erörterung zu sein. Der Hefepilz findet diese drei Elemente vereinigt im Zucker vor, und da immer Zucker vorhanden ist, wo Hefe in Vermehrung ihrer Masse begriffen ist, so wird man natürlich diesen als die Quelle der Elementarbestandteile auffassen.

Strenge bewiesen wird dieses Verhalten, zunächst in Beziehung auf den Kohlenstoff, erst durch die Möglichkeit, den Hefepilz zur Massenvermehrung in Flüssigkeiten zu bringen, welche nichts anderes enthalten als Zucker und eine Reihe von Mineralstoffen, also Zucker als einzigen organischen Bestandteil. Für Wasserstoff und Sauerstoff stehen dem Hefepilze auch noch mancherlei andere Quellen zu Gebote, für welche einstweilen wenigstens die Möglichkeit der Benutzung im Auge behalten werden muss. Die Frage dreht sich wesentlich um den Kohlenstoff.

Jener experimentelle Nachweis der Ernährung des Hefepilzes in mineralischen Nährstoffgemischen bei alleiniger Anwesenheit des organischen Zuckers wird häufig als von Pasteur erbracht angesehen. Sehen wir zu, was dieser Forscher wirklich gezeigt hat. Demselben gelang es zum erstenmal, als stickstoffhaltige Nährstoffe des Hefepilzes den früher stets verwendeten organischen, wie sie z. B. im wässerigen Hefextrakte vorhanden sind, Ammoniaksalze zu substituieren und wirklich eine Massenvermehrung des Pilzes in einem Medium zu konstatieren, welches nur Zucker, Wasser, Ammoniaksalze und Aschenbestandteile enthielt. Unglücklicherweise hat sich nun aber Pasteur und ebenso sein Nachfolger Duclaux zu dieser wichtigen Beweisführung des *weinsauren* Ammoniaks bedient, also thatsächlich die Beimischung von organischen Substanzen ausser Zucker nicht verhindert. Es würde freilich möglich gewesen sein, auch in einem solchen Gärungsgemische die Beweisführung anzutreten, wenn man sich der Mühe unterzogen hätte, die Zunahme an organischer Substanz in der Hefe zu vergleichen mit einem etwaigen, vermutlich aber gar nicht vorhandenen, Verluste an Weinsäure. Allein dies unterblieb, weil man die Weinsäure nur als ein Hilfsmittel ansah, das beigegebene Ammoniak zu neutralisieren.

Von diesen selben Gesichtspunkten ausgehend habe ich es seiner Zeit*) unternommen, diese kleine noch verbleibende Lücke, welche den Pasteur'schen Schlussfolgerungen zur Last gelegt werden konnte, auszufüllen. Ich habe, mich im übrigen an die Pasteur'sche Operationsmethode anschliessend, den sehr naheliegenden Versuch gemacht, dem weinsauren Ammoniak eine kohlenstofffreie Substanz, das salpetersaure Ammoniak, zu substituieren. Der Erfolg war der beste. Es gelang mir auf diese Weise in einer ausserordentlich grossen Anzahl von Versuchen, nicht bloss eine sehr beträchtliche Massenvermehrung der ausgesäeten Hefezellen zu erzielen, sondern auch die betreffenden Flüssigkeiten bis zum letzten Rest des vorhandenen Zuckers zur Vergärung zu bringen. Diese experimentelle Beweisführung, dass die Hefeorganismen bei ihrer Massenvermehrung ihren gesamten Kohlenstoffgehalt aus der Substanz des Zuckers zu decken vermögen und vermutlich auch normalerweise decken, ist natürlich als völlig befriedigend anzusehen.

Dass dieser Kohlenstoff nicht aus der Kohlensäure von den Hefepilzen assimiliert werden kann, ist zum Überflusse auch von Pasteur experimentell durch Wahl einer Flüssigkeit, die zusammengesetzt war**) wie die vorhin erwähnte, nur Kohlensäure statt des Zuckers enthielt, bewiesen worden. Es hiess freilich ein zu geringes Vertrauen in unsere allgemeinen und so feststehenden Schlussfolgerungen setzen, für einen chlorophylllosen Organismus noch einmal diese längst erledigte Frage aufzuwerfen und nur dem Versuche, dessen Resultat man mit Händen greifen konnte, Glauben schenken zu wollen. Aber Überfluss an Beweisen ist immer besser als Mangel an denselben.

Somit ist die Kohlenstoffquelle für die neu sich bildende Hefesubstanz festgestellt. Die Hefezellen behalten einen kleinen Anteil der Elemente des Zuckers, den sie im

*) Untersuchungen über d. alkohol. Gärung, 1869.

**) Welches also auch wieder unglücklicherweise weinsaures Ammoniak enthielt, so dass bei einem positiven Ausfall des Versuchs derselbe keine Beweiskraft hätte in Anspruch nehmen können.

übrigen zerspalten, für sich, und also müsste, worauf wir schon früher hingedeutet haben, diese Verwendung des Zuckers in einer streng richtigen Gärungsgleichung Berücksichtigung finden.

Auch der in Alkohol, Kohlensäure u. s. w. zerspaltene Zucker ist hierbei mit Wahrscheinlichkeit vorübergehend als ein Bestandteil der Hefezellen anzusehen.

Was den Wasserstoff und Sauerstoff des Zuckers betrifft, so bleibt dieser z. T. dem Hefepilze mit dem Kohlenstoffe desselben erhalten. Vielleicht müssen wir für diese Elemente unter allen Umständen noch die Möglichkeit anderer Bezugsquellen (wenn auch nicht in sehr grossem Maassstabe) anerkennen, wie sich aus später zu Behandelndem sehr bald ergeben wird.

Wir gehen nunmehr in unsern Betrachtungen zum Stickstoff über, den wir wie Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff als einen notwendigen Bestandteil des Hefepilzes wie aller anderen Organismen erkannt haben. Wenn wir dabei auf einen Unterschied im Stickstoffgehalt unserer niederen und der meisten höheren pflanzlichen Organismen nochmals hinweisen sollen, so besteht dieser in dem ausserordentlich hohen Gehalt an Proteinstoffen, wie er sich aus den gemachten Mitteilungen für den Hefepilz ergibt. Derselbe nähert sich in dieser Beziehung mehr der Zusammensetzung eines tierischen Wesens, während nur der nicht unerhebliche Cellulosegehalt daran erinnert, dass wir es mit Pflanzen zu thun haben. Dieser hohe Stickstoffgehalt ist auch, wie wir gesehen, Veranlassung dazu gewesen, dass man früher bei Versuch einer Erklärung der Gärungserscheinungen wiederholt auf die „tierische“ Natur der Hefe hinwies oder auf Eigenschaften des Stickstoffs seine Meinung über die Natur des Fermentes zu gründen suchte.

Dass bei einer derartigen Zusammensetzung — über die Hälfte der Trockensubstanz Proteinstoffe — der Stickstoff bei der Ernährung nicht überhaupt entbehrt werden konnte, war eigentlich vorauszusehen. Trotzdem hat man seit Pasteur öfters Versuche angestellt, um diese Folgerung zu prüfen. Dies mag nun allerdings vom Standpunkte der Ernährung unnötig gewesen sein. Aber Pasteur wenigstens hat diese Versuche mehr deshalb unternommen, um überhaupt das Ernährungsbedürfnis der Hefe während ihrer Gärungserregung ausser Frage zu stellen, die ja, während er in dieser Richtung arbeitete, noch vielfach ihrer wahren Natur nach verkannt war.

Das experimentelle Resultat war — wie wir es uns jetzt *a priori* konstruieren können — dass wenn man Hefezellen in geringer Anzahl (um die Ernährung aus der von ihnen selbst mitgebrachten Substanz bis zum Verschwinden einzuschränken) auf eine Zuckerlösung, der im übrigen alle nötigen Substanzen, mit Ausnahme eben aller stickstoffhaltigen, zugesetzt worden waren, aussäete, keine erhebliche Vermehrung dieser Hefezellen und, damit Hand in Hand gehend, keine wesentliche Gärung wahrgenommen werden konnte.

Wenn wir mit diesen Versuchen nun diejenigen vergleichen, welche bei im übrigen ähnlicher Zusammensetzung zu einer reichlichen Hefeentwicklung und alkoholischen Gärung führten, so finden wir, dass sich die betreffenden Gärungsflüssigkeiten durch einen Mehrgehalt an gewissen stickstoffhaltigen Stoffen auszeichnen, die wir nun natürlich als die stickstoffhaltigen Nährstoffe des Hefepilzes

aufzufassen haben. Nicht sämtliche stickstoffhaltigen Körper erwiesen sich aber hierbei als mögliche Nährstoffe der von uns betrachteten Organismen, sondern, wie vorauszusehen, nur eine beschränkte Anzahl derselben*).

Dass zunächst der freie Stickstoff, der in unserer Atmosphäre in unbegrenzten Mengen zur Verfügung steht, dem Hefepilze nicht dienen kann, geht aus den Versuchen mit Ausschluss des Stickstoffs in der Nährflüssigkeit hervor, denn in diesen ist ja das gasförmige unverbundene Element auf keine Weise ausgeschlossen. Dieses verhält sich auch hier wie mit wenig Ausnahmen (die Bakterien der Papilionaceenwurzeln) der Organismenwelt gegenüber direkt als durchaus indifferent.

Von Pasteur rührt sonst nur eine kleine Zahl von Stickstoffernährungsversuchen her, was bei der Fülle des von ihm zu bewältigenden Materials nicht zu verwundern ist. Als gewöhnlichster stickstoffhaltiger Nährstoff wurde von ihm sogar ein sehr wenig zu exakten Versuchen sich eignendes Material, nämlich ein wässriger Extrakt der rohen Bierhefe selber gewählt, das natürlich eine bunte Mischung von Stoffen darstellt. Dasselbe enthält nachgewiesenermaassen grössere Mengen von eiweissartigen Stoffen, deren nähere Natur freilich nicht festgestellt war und auch nicht von seiten Pasteur's festgestellt worden ist. Ausserdem haben wir einigen Grund, in solchen Aufgüssen der rohen Hefe häufig stickstoffhaltige Stoffe anderer Art, wie z. B. Leucin und andere Ausscheidungs- oder Zersetzungsprodukte, anzunehmen, so dass man eben nach einer gelungenen Ernährung mit einem solchen Auszug nicht weiss, was man dem Pilze thatsächlich gegeben und womit man ihn am Leben erhalten hat.

In einem solchen Extrakte, in welchem auch die nötigen Aschenbestandteile für die Hefepilzernährung vorhanden sind, gelang nach Zuckerzusatz Gärung und Hefevervegetation auf das beste. Freilich wusste man hierdurch nur, dass irgend welche stickstoffhaltigen Bestandteile, die von den Hefezellen bei der Siedhitze an Wasser abgegeben werden, wieder zur neuen Ernährung von ihnen assimiliert werden können. Was diese Bestandteile für chemische Körper sind, darüber geben so ausgeführte Versuche natürlich keinen Aufschluss. Es haben die letzteren eben nur für den Nachweis des Stickstoffbedürfnisses und damit für eine Unterstützung des Nachweises der Organismennatur der Hefe eine hervorragende Bedeutung; und sie beweisen zugleich, dass der freie atmosphärische Stickstoff von dem Hefepilz nicht assimiliert werden kann.

Ausser diesen entscheidenden Versuchen mit Zuckerlösung und Hefeextrakt einerseits und mit Zuckerlösung und Hefenasche andererseits, in welchem letzteren Falle Gärung und Hefevermehrung unterblieb, rührt von Pasteur, wie schon am Schluss der letzten Vorlesung angedeutet, noch eine andere Art von Stickstoffernährungsversuchen mit unserem Pilze her, welche nicht bloss für unseren Gegenstand von höchstem Interesse sind, sondern auch eine ganz fundamentale physiologische Wichtigkeit besitzen. Es gelang dem genannten Forscher, in einem Gemisch aus Zuckerlösung, Hefenasche und *Ammoniak*salzen, nach minimaler Hefeaussaat Gärung

*) Eine Fragestellung in dieser Richtung, wenn auch keine Beantwortung, haben wir schon Quevenne zuzuschreiben (Journ. f. prakt. Chemie, B. 14, p. 470).

und entsprechende Pilzentwicklung zu konstatieren. Wir lassen einstweilen unberücksichtigt, dass eine solche Ernährung eine minder üppige Entwicklung und infolgedessen eine minder grosse Gärungsintensität zur Folge hat. Genug, der Hefepilz ist im stande, dauernd seinen Leib auf Kosten der genannten Rohstoffe aufzubauen.

Es darf nicht unerwähnt bleiben, dass zunächst dieser Sachverhalt noch nicht gegen alle Anfeindungen sicher gestellt erschien. Der Nachweis stützte sich hauptsächlich auf die Beobachtung der Gärung und die Verminderung des Ammoniaks in der Flüssigkeit. Das erstere war für diejenigen kein Beleg, welche Gärung und Hefepilzentwicklung nicht als zusammengehörig betrachteten. Für die letztere Behauptung wurde die Zulässigkeit der verwendeten analytischen Methode bestritten. So war es insbesondere Liebig, welcher den Einwurf machte, dass das Ammoniak sich durch Bildung von phosphorsaurem Magnesia-Ammoniak dem analytischen Nachweis am Schlusse der Gärung entzogen haben könne, da sich Pasteur der gebrannten Magnesia als Mittel, jenen Körper auszutreiben, bedient habe. Allein es wurde dann von mehreren Seiten nachgewiesen*), dass die gebrannte Magnesia auch aus jenem Doppelsalze das Ammoniak auszutreiben im stande ist, dass mithin jener Einwurf nicht zu Recht besteht.

Aber auch in Frankreich wurde die Pasteur'sche Beobachtung, welche allerdings auf den ersten Blick befremdend erscheinen musste, angegriffen, und es war Millon, welcher versuchte, die kleinen Ammoniakdifferenzen, welche von jenem konstatiert worden waren, auf Entweichen von Ammoniak im Gaszustand während der Gärung zurückzuführen. Aus diesem Grunde und eben wegen der Kleinheit der von Pasteur nachgewiesenen Differenzen war es erwünscht, dass ein auch sonst um die Gärungschemie sehr verdienster Schüler dieses Forschers den Gegenstand noch etwas eingehender und mit Beachtung aller nötigen Vorsichtsmaassregeln bearbeitete. Die von Duclaux gelieferte Beweisführung kann als eine endgültige angesehen werden, und deshalb verdienen die von ihm ermittelten Zahlen hier angeführt zu werden. Der genannte Forscher begnügte sich nicht mit dem Nachweis der Ammoniakdifferenz, sondern er versuchte, wie wir eine solche bei Stoffwechselversuchen an höheren Tieren zu erhalten gewohnt sind, eine vollständige Stickstoffbilanz zu geben. Der Versuch wurde allerdings nicht mit einer minimalen Aussaat von Hefe unternommen, und es erhellt nicht, wieviel von dem Stickstoff des Ammoniaks in der Hefezelle niedergelegt wurde, indem die rohe Hefe, in Zuckerlösung gebracht, viele stickstoffhaltigen Bestandteile an diese abgibt, und darum im vorliegenden Falle schliesslich geradezu stickstoffärmer erscheint. Allein dies ist eine sekundäre Frage und der Versuch wird dadurch in seiner Beweiskraft für den gerade vorliegenden Fall um nichts abgeschwächt.

Duclaux hatte auf eine gewisse Menge Zuckerwasser 2,501 gr Hefe mit 0,215 gr Stickstoff angewendet. Die Flüssigkeit enthielt 1 gr weinsaures Ammoniak mit 0,184 gr Ammoniak. Nach Beendigung der Gärung wurde gesammelt 2,326 gr Hefe, in der 0,148 gr Stickstoff gefunden wurde. In der Flüssigkeit war 0,055 gr

*) Vgl. namentlich meine Untersuchungen über die alkohol. Gärung etc., Heidelberg 1869, p. 56, und später noch von anderer Seite.

Ammoniak, also 0,045 gr und 0,170 gr Stickstoff in der organischen Substanz vorhanden. Die Bilanz in Bezug auf den Stickstoff vor und nach der Gärung stellt sich folgendermaassen:

	vorher	nachher
	N	N
in der Hefe	0,215 gr	0,148 gr
als Ammoniaksalz	0,152 „	0,045 „
in der Flüssigkeit als organische Verbindung . .	—	0,170 „
	0,367 gr	0,363 gr.

Das Resultat ist bis auf 4 mgr genau und zeigt uns nicht bloss den Verlust von beinahe $\frac{3}{4}$ des zugesetzten Ammoniaks an, sondern weist auch das Vorhandensein des so verschwundenen Stickstoffs in einer andern Form nach. Kurz und wie gesagt, der Versuch muss als entscheidend angesehen werden.

Später ist dann das gleiche Resultat noch vielfach bestätigt worden, theils von Duclaux selbst, theils von deutschen Experimentatoren, die auf dem von Pasteur geebneten Wege weiter wandelten*).

Der Hefepilz vermag also die ihn unter anderem konstituierenden Proteinstoffe sich selbst zu erzeugen aus dem einzigen kohlenstoffhaltigen Material, das er zu seiner Ernährung bedarf, dem Zucker, und aus einem stickstoffhaltigen unorganischen Stoffe, dem Ammoniak. Dieser Satz nimmt, wie schon angemerkt, eine Bedeutung in mehrfacher Richtung in Anspruch. Einmal ergibt sich — was wir schon wissen — nochmals zur Evidenz, dass die Hefe während der Gärungsbewirkung nicht in die gewöhnlichen Endprodukte des Stoffwechsels zerfällt, und dabei, wie Döbereiner durch ungeeignete analytische Methoden glaubte bewiesen zu haben und wie die ältere mechanische Gärungstheorie voraussetzte, Ammoniak abgibt, sondern dass umgekehrt ein Prozess des physiologischen Aufbaus sich als das Wesentliche dabei herausstellt, und dass diese Neuorganisation sogar auf Kosten von Ammoniak vor sich gehen kann. In dieser Richtung erscheint uns also der Nachweis als eine neue Stütze der vitalen Gärungstheorie.

Zum zweiten haben wir es dann mit einer Thatfache von ganz allgemeiner physiologischer Bedeutung zu thun. Es ist noch nicht so gar lange her, dass man die Fähigkeit, Proteinstoffe zu erzeugen, wie überhaupt (und dies letztere bekanntlich mit gutem Rechte) die Erzeugung von organischer Substanz speziell den chlorophyllführenden Organen der grün gefärbten Pflanzenwelt zuschrieb**). Man hätte vielleicht aus leicht zugänglichen Beobachtungen über die Ernährung von gemeinen Schimmelpilzen bei einigem Nachdenken ähnliche Thatfachen ableiten können, da wir auch in den Organen dieser selbstredend Proteinverbindungen annehmen. Allein diese Folgerungen unterblieben, wenn auch vielleicht nur aus Gedankenlosigkeit; und so haben wir hier die Quelle der wichtigen Einsicht, dass die Erzeugung von Proteinstoffen, die Existenz von Kohlenhydraten vorausgesetzt, unabhängig von der Organisation der Chlorophyllzelle erfolgen kann, aufzuspiren.

*) Duclaux: Thèses, présentées à la faculté d. sc. d. Paris, 1865; und meine Untersuchungen über d. alkohol. Gärung etc., Heidelb. 1869, p. 58.

**) Vgl. Liebig: Annal. d. Chem. u. Pharm., 1870, B. I, p. 41.

Freilich wohl, der Nachweis, dass Zucker das einzige kohlenstoffhaltige Rohmaterial für den Aufbau des Hefepilzes und so für die Erzeugung von Proteinstoffen darstellt, ist in aller Strenge noch nicht in den Versuchen von Pasteur und Duclaux zu finden; denn von ihnen wurde, wie wir schon in der vorigen Vorlesung erwähnt haben, unglücklicherweise immer ein kohlenstoffhaltiges Ammoniaksalz, nämlich weinsaures Ammoniak, verwendet. Diese kleine Lücke wurde aber bald durch einen nachfolgenden Experimentator ausgefüllt, der eben um dieses Nachweises willen in einer sehr grossen Anzahl von Versuchen salpetersaures Ammoniak verwendete und dabei nicht bloss eine successive Ammoniakverminderung, sondern auch einen bedeutenden Aufbau von stickstoffhaltiger Hefesubstanz konstatierte*).

Schliesslich nimmt natürlich die spezifische Thatsache, dass der Hefepilz gerade unter einer grossen Anzahl von stickstoffhaltigen Stoffen durch die verschiedenartigsten Ammoniaksalze ernährt werden kann**), ein eigenes Interesse für sich in Anspruch. Dabei darf allerdings nicht unterlassen werden zu erwähnen, dass eine Ernährung auf Kosten von Ammoniaksalzen, wie dies von allen Experimentatoren gleichmässig gefunden worden ist, nicht unerheblich *weniger gut* von statten geht, als auf Kosten der noch nicht näher definierten Bestandteile des Hefeextraktes. Pasteur hat gar keine Gärung auf Kosten von Ammoniaksalzen zu Ende, d. h. bis zum vollständigen Verschwinden des Zuckers geführt, und wenn dies auch den später in derselben Richtung arbeitenden Experimentatoren wiederholt gelungen ist, so waren doch immer die unter den im übrigen günstigen Bedingungen zu erlangenden Gärungsintensitäten den bei normaler Ernährung gewöhnlichen untergeordnet.

Die weitere Bearbeitung des Stickstoffbedarfes des Hefepilzes ist fast ausschliesslich in einer Untersuchung des Verfassers dieser Vorlesungen angestrebt worden, und ist wenigstens eine Reihe von feststehenden Resultaten als aus derselben hervorgehend zu bezeichnen, wenn die hier sich aufwerfenden Fragen auch bis jetzt keineswegs alle eine genügende Beantwortung gefunden haben. Das im folgenden Mitzuteilende bezieht sich wie das bis dahin über die Stickstoffernährung der Hefepilze Angeführte zunächst auf die Pilzspezies, welche die gewöhnliche Bierhefe zusammensetzen. Allein bei der übereinstimmenden Organisation aller Saccharomycesarten dürfen wohl die meisten der erlangten Sätze ohne weiteres auf die ganze Gruppe ausgedehnt werden. Nur soweit auch Alkoholgärung durch sonst abweichend organisierte Organismen bedingt wird, wie dieser Nachweis bis jetzt für einige Mucorarten mit Sicherheit geglückt ist, wird man mit der Übertragung der Gesetzmässigkeit einigermassen vorsichtig sein müssen.

Aus meinen Versuchen über Stickstoffernährung des Hefepilzes***) kann ungefähr folgendes mit Sicherheit erschlossen werden.

Die gewöhnlichen Proteinstoffe pflanzlichen oder tierischen Ursprungs, welche man bis dahin und auch noch nach der eben besprochenen Pasteur'schen Ent-

*) Siehe meine Arbeiten in dieser Richtung a. a. O., p. 58. Ausserdem eine Bestätigung in Annalen d. Önologie, B. I, p. 55.

**) Auch für oxalsaures Ammoniak bewiesen.

***) Untersuchungen über die alkohol. Gärung etc., Heidelberg 1869, p. 54; Landw. Versuchsst., B. 14, p. 1 u. 470.

deckung als die naturgemässe Stickstoffquelle der Hefepilze in Bierwürze, Branntweinmaische und Weinmost angesehen hatte, sind grossenteils ganz und gar nicht zur Ernährung von *Saccharomyces cerevisiae* geeignet. Namentlich haben alle meine ersten Versuche, die mit Albumin, Casein und anderen tierischen Proteinstoffen angestellt waren, schlechthin negative Resultate ergeben, während andere vergleichende Versuche derselben Reihe gute Erfolge hatten. Später stellte sich bei fortgesetzten Versuchen heraus, dass den Proteinstoffen nicht absolut die Fähigkeit abgesprochen werden darf, den Hefepilz mit Stickstoff zu versorgen. Es kommt nämlich das *osmotische Vermögen* der Nährstoffe für den Hefepilz gar sehr in Betracht (ähnlich wie auch in dem Verdauungskanale der höheren Tiere solche Eigenschaften für die Nährbefähigung entscheidend sind), weil eben die Membranen, welche die Hefezellen und deren Protoplasma nach aussen begrenzen, notwendig durchdrungen werden müssen. So gelang mir es später nachzuweisen, dass eine grössere Reihe der verschiedenartigsten Proteinstoffe fast in derselben Proportion sich zur Hefer Ernährung eignete, als sie durch Pergamentpapier hindurch diffundierten. Meine ersten ausschliesslich negativen Resultate waren also durch die Zufälligkeit bedingt, dass ich in meiner Wahl auf mehr oder minder schwer diffusible Stoffe gefallen war.

Als beste stickstoffhaltige Nahrungsmittel wurden durch diese Untersuchungen peptonartige Körper hingestellt, also Stoffe von äusserster Diffusibilität, die kaum mehr den Charakter der Proteinstoffe an sich tragen, aber doch selbst im Organismus der höheren Tiere wieder leicht in diese zurückverwandelt werden können. Zuerst bot sich mir diese Thatsache in eigentümlicher Gestalt dar, indem einige Sorten von Pepsin und in ähnlicher Weise auch Diastase als hervorragend gute Nahrungsmittel des Hefepilzes erschienen, so dass man an eine gewisse Beziehung dieses Verhaltens zu den Eigenschaften dieser Körper als Enzyme hätte denken können. Allein alle diese Stoffe wurden stets nur nach Überstehung der Siedehitze angewendet und auch sonst allseitig nachgewiesen, dass die Eigenschaften als Enzyme nicht das geringste mit der Unterstützung der Gärung zu thun hatten. — Die Sache liegt einfach so, dass die eigentlichen Enzyme nicht leicht rein dargestellt werden können, und dass das Pepsin meistens den Peptonen anhaftend gewonnen wird, und diese waren es dann, welche alsdann die Stickstoffernährung des Hefepilzes besorgten. — Ganz ähnlich scheint auch die Sache bei der Diastase zu liegen, welche auch anhaftend an gewisse Proteinkörper des Malzes nach den gewöhnlichen Methoden gewonnen wird; nur dass diese nicht in jenem Grade günstig auf die Gärung wirken. Auch im Eidotter muss ein Proteinstoff von ähnlichen Eigenschaften vorhanden sein; denn derselbe erwies sich als sehr brauchbar zur Stickstoffernährung des Hefepilzes*).

Ausser den leichtest diffundierenden Peptonen, welche nach der bis dahin vorliegenden Erfahrung die besten stickstoffhaltigen Nahrungsmittel des Hefepilzes sind, und den sonst leichter diffundierenden Proteinstoffen, wie z. B. Syntonin, welche noch gutes in derselben Richtung zu leisten vermögen, wurden noch mehrere andere Stoffe als mehr oder minder tauglich zur Stickstoffernährung gefunden, so unter anderen einige stickstoffhaltige sogenannte Endprodukte des tierischen Stoffwechsels,

*) Mach: Annal. d. Önologie, B. IV, p. 372.

welche dem Ammoniak ziemlich nahe stehen, wie Harnstoff und solche Stoffe, die sich in ihrer Konstitution dem Harnstoffe nähern, wie Allantoin, Guanin*) und in geringerem Grade auch Harnsäure. Andere diesen verwandte Amidostoffe erwiesen sich als weniger geeignet, so Kreatinin und Kreatin. Allein für einen sicheren Erweis dieses letzteren Verhaltens sind die Belege vielleicht nicht ausreichend. Auch Acetamid**) kann nach einer Angabe zur Stickstoffversorgung des Hefepilzes verwendet werden, ebenso mit recht befriedigendem Resultate das Asparagin, welches ja auch zu der Ernährung der höheren Pflanzen mit Vorteil verwandt worden ist***).

Ein Alkaloid, das in der gleichen Richtung untersucht wurde, Kaffein, erwies sich als unfähig, den Hefepilz mit Stickstoff zu versorgen, und so kommt man zu der Vermutung, dass es besonders die amidoartig konstituierten organischen Körper sind, welche geeignete Stickstoffquellen für den Hefepilz darstellen, während der Stickstoff, der mit mehr als einer Bindung an Kohlenstoffatomen festsetzt, hierzu unfähig ist. Auch in dieser Bezeichnung ist vergleichungsweise darauf hinzudeuten, dass auch für die Stickstoffernährung der höheren Pflanzen beinahe die nämlichen Stoffe als tauglich befunden worden sind, so dass hier eine Analogie aufgedeckt wäre, die freilich nicht ganz durchgehend ist.

Dagegen sehen wir unsere niederen Organismen in Bezug auf die Assimilation ihres Stickstoffs von der höheren Pflanzenwelt getrennt durch die Verwertung leicht diffusibler Proteinkörper, insbesondere peptonartiger Substanzen, die ihnen sogar die am meisten naturgemässe ist. Freilich ist dieses Verhalten für die höheren Gewächse noch nicht eingehend geprüft worden, aber nur weil hier etwas Analoges *a priori* schon wegen der Anatomie der Wurzeln unwahrscheinlich genug ist.

Eben hieraus, sowie aus den Erfahrungen, welche man bei den sogenannten fleischiessenden Pflanzen gemacht, ergibt sich aber, dass dieser Unterschied nur ein verhältnismässig äusserlicher ist. Auch das Gewebe der höheren Pflanzen würde von Peptonernährung profitieren können, wenn die weitgehende Differenzierung ihrer Organe nicht deren Aufnahme in der Regel unmöglich machte.

Endlich stellte sich im Verlauf der Hefeernährungsversuche ein weiterer tiefgreifender Unterschied heraus, nämlich die Unfähigkeit des Hefepilzes, seinen Stickstoffbedarf aus Salpetersäure zu beziehen, was in einer Reihe von Experimenten wiederholt ermittelt wurde und auch von anderer Seite Bestätigung†) gefunden hat. Dies Verhalten erscheint um so auffallender, als nahe benachbarte Pflanzenformen, wie die gewöhnlichen Schimmelpilze, auf Flüssigkeiten, die von stickstoffhaltigen Bestandteilen lediglich salpetersaure Salze enthalten, üppig gedeihen††).

*) Für diesen Körper durch eine Arbeit von Rösler und Bialoblocki nachgewiesen, vgl. Annal. d. Önologie, B. I, p. 55.

**) Mach: ebenda, IV, 373.

***)) Vergl. dieses Lehrbuch, Teil I, p. 176.

†) Briefliche Mitteilung von Schaer. — Dubrunfaut will allerdings infolge des Zusatzes von Salpeter eine Steigerung der Gärungsintensität wahrgenommen haben (Compt. rend., T. 73, p. 200, 263), aber dieses kann auf dem Einfluss des basischen Teils des Salpeters beruhen.

††) Durch Fitz für *Mucor racemosus* bestätigt (Ber. der deutschen chem. Gesellschaft, 1875, 1540).

Dann sei schliesslich die Thatsache noch erwähnt, dass phosphorsaures Hydroxylamin, also ein Salz dieses oxydierten Ammoniaks von der Formel NH_3O , sich in einem, freilich entschieden genug ausfallenden Versuch als unfähig erwies zur Stickstoffernährung des Hefepilzes.

Die im vorhergehenden erwähnten Thatsachen sind auch von einer gewissen praktischen Bedeutung für die Gärungsgewerbe. Die gewöhnlichen Bierhefepilze werden durch die eigentlichen Eiweissstoffe nur sehr schlecht ernährt. Wir werden sehen, dass dies bei verschiedenen Organismen aus der Gruppe der Bakterien, z. B. bei denjenigen, welche aus Alkohol Essigsäure erzeugen*), anders ist, und dass dieser Unterschied beruht auf der Abscheidung von peptonisierenden Enzymen, welche diesen zugeschrieben wird**).

Was ist also natürlicher, als die Methode des Würzekochens, wobei aus dem Malzextrakt albuminartige Stoffe ausgeschieden werden, unter diesem Gesichtspunkte zu betrachten? Die gekochte Würze muss infolge dieser Behandlung notwendig weniger nährkräftig für die betreffenden, z. T. sehr gefährlichen Bakterien werden, während die Nährkraft gegenüber den Saccharomyceten nahezu unverändert bleibt.

Eine weitere Anwendung kann von dieser unserer Kenntnis der Hefepilzernährung offenbar gemacht werden in Bezug auf die sogenannte Kunsthefe in der Spiritusfabrikation, eine Hefe, welche man durch Einleitung der Gärung in kleinen Dimensionen namentlich dann erzeugt, wenn die Hauptmaische (besonders in Bezug auf die Stickstoffversorgung) wenig nährkräftige Bestandteile einschliesst, wie dies z. B. in der Kartoffelbrennerei der Fall ist. In diesem Falle wird also eine ausreichend gute Ernährung durch Zusatz von genügenden Mengen von stickstoffhaltigen Stoffen möglich gemacht.

Ausser der Frage: Welche Körper sind im stande, den Hefepilz mit dem ihm zu seiner Entwicklung unentbehrlichen Stickstoff zu versorgen? mit deren Beantwortung wir uns bisher beschäftigt haben, kann man in Bezug auf diesen Gegenstand die weitere Frage aufwerfen: Was geschieht mit der vom Hefepilz assimilierten stickstoffhaltigen Substanz, hilft dieselbe lediglich mit zum Aufbau der neu sich bildenden Zellen? oder giebt auch der Hefepilz nach Analogie der tierischen Organismen den Stickstoff wieder in einer Form aus, in welcher er zur weiteren Assimilation durch denselben Organismus unfähig ist; *findet*, mit anderen Worten, *neben dem Stickstoffansatz ein Stickstoffumsatz statt?*

Es ist leicht zu verstehen, wie man zu einer solchen Fragestellung gekommen ist; sie wurde veranlasst durch die Beobachtung des sogenannten „Trägewerdens“ der Hefe bei deren Vermischung mit einer verhältnismässig grossen Menge reinen Zuckerwassers. Während dieses Trägewerdens der Hefe, ihrer mehr und mehr sich steigernden Unfähigkeit, mit neuen Mengen Zucker zusammengebracht, kräftige Gärung zu veranlassen, beobachtet man eine Gewichtsabnahme derselben (wenigstens von einem gewissen Zeitpunkt an), ausserdem einen stetigen Verlust an Stickstoff des restierenden Heferückstandes. Diese letztere Beobachtung, welche in weniger klarer Weise schon Thénard***) gemacht hatte und welche schon diesen Forscher

*) Siehe die 11. Vorlesung.

**) Vergl. auch A. Bernstein: Deutsche landw. Presse, 1895, p. 119.

***) Annal. d. Chim., 46, p. 294.

veranlasste, nach Verbleib des Stickstoffs der Hefe während der Gärung zu fragen, ist es vorzüglich, die nach der Erkenntnis der Organisation der Hefe zu der Vermutung berechtigt, dass mit dem physiologischen Prozess des Zerfalls des Zuckers in die bekannten Gärungsprodukte auch notwendig eine chemische Veränderung der von den Hefezellen aufgenommenen stickstoffhaltigen Stoffe der Art verbunden sein möchte, dass die einmal ausgegebene stickstoffhaltige Substanz auch fortan unfähig sei, von der Hefezelle wieder assimiliert zu werden. Diese Vermutung der Verwandlung eines Teils der stickstoffhaltigen Bestandteile des Hefepilzes während der Gärung in einen solchen stickstoffhaltigen Körper, auf dessen Kosten dieser Organismus nicht mehr von neuem sein Stickstoffbedürfnis zu befriedigen vermag, erscheint in der That als die natürlichste Erklärung der namhaft gemachten Erscheinung. Allein es handelt sich um den Beweis der vermuteten Thatsache.

In einer älteren Veröffentlichung habe ich einige Versuche mitgeteilt, deren Resultate jener Vermutung einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit gegeben haben. Es wurde gezeigt*), dass der in Alkohol unlösliche Teil des wässrigen Auszuges frischer leistungsfähiger Hefe in ungleich höherem Grade den Hefepilz in Bezug auf Stickstoff zu ernähren vermag als die auf gleiche Weise aus Gärungsflüssigkeiten gewonnene Alkoholfällung, in welchen viel Zucker nacheinander mit einer und derselben Hefemenge unter Trägewerden dieser letzteren vergoren hatte, obgleich die auf die letztere Weise dargestellte Substanz noch etwas stickstoffreicher war als die aus der frischen Hefe gewonnene. Indessen war das aus diesem Versuche abgeleitete Resultat noch der Bestätigung bedürftig.

Die aufgeworfene Frage hat mich auch noch in späteren Versuchen vielfach beschäftigt**).

Es wurden unter anderem drei Gärungsversuche angestellt mit Gemischen, welche genau dieselbe Menge Wasser, Zucker und Aschenbestandteile enthielten, und sich nur dadurch voneinander unterschieden, dass das stickstoffhaltige Nahrungsmittel, peptonhaltiges Pepsin, in stufenweise verschiedenen Mengen zugegeben war. Die drei Gärungsapparate enthielten 20 ccm 15prozentige Zuckerlösung, 0,1 gr saures phosphorsaures Kali, 0,05 gr krystallisierte schwefelsaure Magnesia und 0,05, resp. 0,1, resp. 0,15 gr Pepsin (nach der Wassmann'schen Methode dargestellt). Eine Hefeaussaat wurde in minimalen Mengen vorgenommen.

Die Stickstoffmengen waren zugleich so gewählt, dass auch die geringsten Mengen voraussichtlich für eine erste Gärung noch ausreichen mussten. Alsdann war beabsichtigt, die überstehende vergorene Flüssigkeit klar von der Hefe abzuheben, abzudestillieren, den Alkoholgehalt zu bestimmen, wie schon die entwichenen Kohlensäuremengen durch die Gewichtsverluste der Apparate ermittelt worden waren***), und den Destillationsrückstand mit etwaigem unvergorenem Zucker, Aschenbestandteilen, stickstoffhaltigen Stoffen und nicht flüchtigen Gärungsprodukten mit

*) Untersuchungen u. s. w., p. 76.

**) Landw. Versuchszt., B. 14, p. 33.

***) Um aus den Gewichtsverlusten an trockener Kohlensäure jeder Zeit die Gärungsintensität bemessen zu können, hatte ich mir in allen meinen Gärungsversuchen einen einfachen Apparat konstruiert. Vgl. Untersuchungen über alkohol. Gärung, Heidelberg 1869, p. 9.

der Hefe wieder zu vereinigen und einen erneuten Zuckerzusatz zu geben. Wenn man dieses Verfahren öfters wiederholte, so musste man entweder schliesslich zu einem Punkte kommen, wo sich Unterschiede in der Vergärungsfähigkeit der einzelnen Flüssigkeiten herausstellten — und dann werden wir gleich sehen, welche Schlüsse hieraus gezogen werden können —, oder aber solche Unterschiede stellten sich nicht ein; nun dann konnten ohne Zweifel die schon als Hefebestandteile niedergelegten Stickstoffmengen immer wieder zu einer erneuten Gärung dienen.

Es würde uns hier zu weit führen, wollten wir den ganzen Verlauf der Gärungen hier eingehends verfolgen. Es wird genügen, die endgültigen Alkoholzahlen anzuführen.

Alkohol wurde erzeugt in Gärungsflüssigkeit

	I (0,15 gr Pepsin)	II (0,10 gr Pepsin)	III (0,05 gr Pepsin)
Versuchsreihe 1	1,38 „	1,43 „	1,48 „
2	1,45 „	1,33 „	1,37 „
3	1,60 „	1,59 „	1,16 „
4	—	1,52 „	0,62 „
5	—	0,74 „	0,25 „

Zwischen jeder einzelnen Reihe war in der beschriebenen Weise ein Zuckerzusatz von genau 3 gr gegeben worden. Während anfangs (in den beiden ersten Versuchsreihen) die Gärung in allen drei Flüssigkeiten gleichmässig verlaufen war, zeigte sich von der dritten Versuchsreihe an ein immer wachsender Unterschied zu Ungunsten der dritten Versuchsflüssigkeit, in der die kleinste Menge Stickstoff zugegen war, und dieser Unterschied wuchs, trotzdem sich nach und nach beträchtliche Mengen von unvergorenem Zucker in derselben angehäuft haben mussten.

Die Versuchsflüssigkeit Nr. III war also augenscheinlich nicht mehr so beschaffen, dass die neue Hefevegetation sich so üppig darin entfalten konnte wie in den Versuchsflüssigkeiten Nr. I und II. — Und was konnte die Ursache dieses minder üppigen Gedeihens sein? — Doch nur die zu kleine Menge des ursprünglich hinzugesetzten peptonhaltigen Pepsins. Weder dem Fehlen von Aschenbestandteilen, noch der Anhäufung nicht abdestillierbarer Gärungsprodukte, welche nach und nach eine schädliche Wirkung auf den Verlauf der Gärung auszuüben pflegen, konnte daran eine Schuld beigemessen werden, denn diese Umstände mussten in den drei Gärungsflüssigkeiten einander gleich sein. Allein jene kleinere Menge Pepton hatte genügt, um die ersten 3 gr Zucker und ebenso die nach Vergärung dieser zugesetzten weiteren 3 gr mit derselben Raschheit verschwinden zu lassen wie in den peptonreicheren Flüssigkeiten.

Man wird also durch die letzten Versuchsreihen zu dem schon früher auf einem ähnlichen Wege erlangten Schlusse geführt, dass das stickstoffhaltige Nahrungsmittel des Hefepilzes während der Gärung in einem gewissen Verhältnis zum vergärenden Zucker in eine Form übergeführt wird, in der es nicht mehr (oder nur sehr unvollkommen) die Hefe zu ernähren vermag. Diese Form kann aber, soweit diese Versuche an sich ein Urteil erlauben, entweder in den stickstoffhaltigen Substanzen der abgestorbenen Hefezellen, von welchen (ersteren) wir nicht wissen, ob oder inwieweit sie wieder durch eine neue Hefevegetation assimiliert werden können, oder in

wahren von den Hefezellen ausgeschiedenen stickstoffhaltigen Exkrementen bestehen. Was hiervon stattfindet, darüber werden wir erst durch Vergleichen dieser Untersuchungen mit anderen Klarheit erlangen können.

Hält man diesen Versuch hier mit dem schon ursprünglich von Thénard angestellten zusammen, der in exakterer Weise mit den Mitteln der neueren Chemie und mit unzweideutigerem Erfolg von Pasteur*) wiederholt worden ist, so erscheint es möglich, auch über den Punkt, den meine eben mitgeteilten Versuche an sich noch zweifelhaft lassen würden, Aufschluss zu geben. Der Pasteur'sche Versuch bestand darin, dass man eine gewisse Menge von Bierhefe dazu verwendete, eine reine Zuckerlösung zur Vergärung zu bringen, und dann nicht bloss die restierende Hefemenge wog, sondern auch ihren Stickstoffgehalt bestimmte. Die Hefemenge nimmt bei dem fraglichen Versuche, je nach dem Verhältnis des zugesetzten Zuckers zur Hefe, ab oder zu. Mag nun aber eine Abnahme oder eine Zunahme dieser Hefe eintreten, immer wird dieselbe nach der Gärung in reinem Zuckerwasser stickstoffärmer gefunden als vorher, und um so stickstoffärmer, je mehr Zucker durch die Hefe zerlegt worden, je träger diese geworden ist. Diese Stickstoffarmut der ermatteten Hefe kann also nicht durch die Verdünnung dieses Elements infolge von Zuwachs der Hefe an stickstofffreier organischer Substanz erklärt werden, denn sie tritt in allen Fällen ein, und auch, wenn die Hefe cellulosereicher geworden ist, so erklärt sich die Stickstoffverminderung derselben nicht durch diese Zusammensetzungsänderung, sie ist mit anderen Worten auch in diesem Falle nicht bloss eine relative, sondern eine absolute. Pasteur teilt z. B. a. a. O. einen Versuch mit, wo er auf 100 gr Zucker nur 1,198 gr trockener Hefe (etwa entsprechend 9 gr feuchter Hefe) mit 9,77%, also mit 0,117 gr Stickstoff verwendete; nach der Vergärung wurden 1,745 gr trockener Hefe mit nur 5,5% Stickstoff vorgefunden, so dass nicht bloss eine prozentische, sondern auch eine absolute Verminderung dieses Elementes in der Hefe eingetreten war, denn aus jenem Prozentsatz berechnen sich 0,096 gr Stickstoff. Der Rest Stickstoff war in der That in die Flüssigkeit übergegangen, denn es konnten davon 23 mgr in dem in Alkohol und Äther unlöslichen Extrakt, 2 mgr im Ätherextrakt nachgewiesen werden, was also (bis auf 4 mgr genau) der ursprünglichen Stickstoffmenge entspricht.

Ausser dieser Pasteur'schen liegen aber eine ganze Reihe von Analysen der erschöpften Hefe vor, die den von Thénard schon andeutungsweise behaupteten Sachverhalt über allen Zweifel erheben. Mitscherlich fand Hefe, nachdem sie eine gewisse Menge Zucker zerlegt hatte, von 10% Stickstoff auf 5% heruntergegangen, Schlossberger nach dem Stehen mit Bier von 11,97% auf 9,14% vermindert, und Mulder macht ähnliche Angaben.

Das Resultat dieser Untersuchungen, zusammengehalten mit den angeführten meinigen, lässt nur eine Deutung zu. Aus den letzteren durfte gefolgert werden, dass eine und dieselbe Stickstoffmenge nicht im stande ist, bei völlig normaler Ernährung der Hefepilze in Bezug auf jeden andern Elementarbestandteil, immer wieder von neuem zur Entwicklung dieser zu dienen und so die Zerlegung einer

*) Annal. d. Chimie et de Phys. (3), T. 58, p. 407.

unbegrenzten Zuckermenge zu veranlassen; sie gaben aber keinen Aufschluss darüber, ob dies sich nur deshalb so verhielt, weil der einmal in der Hefe fixierte Stickstoff nicht völlig den Neubildungen zugänglich sei, oder weil ausserdem auch ein wirkliches nicht mehr assimilierbares stickstoffhaltiges Exkrement der Hefepilze existiere. — Wenn wir aber nun aus jenen anderen Versuchen erfahren, dass der Endzustand, in welchem die ermattete und erschöpfte Hefe aufhört, ein Gärungserreger zu sein, nicht darin besteht, dass aller Stickstoff in den organisierten Elementen der Hefe fixiert ist, sondern dass in diesem Zustand die Hefe absolut an Stickstoff verarmt ist, so kann man mit einiger Sicherheit die gestellte Frage dahin beantworten, dass jedenfalls (neben der anderen) jene zweite Möglichkeit thatsächlich stattfindet, dass der Hefepilz notwendig während seiner gärungserregenden Thätigkeit ein stickstoffhaltiges Exkrement ausscheidet*), das ihm nicht oder nur in sehr unvollkommenem Maasse wieder als Nahrung dienen kann.

Die Kombination zweier verschiedenen Versuchsanstellungen, von denen jede allein nicht strenge zu dem gemachten Schlusse berechtigt haben würde, führt uns also zu einem feststehenden Resultate. Eine weitere Aufgabe in betreff der näheren Erörterung des Stickstoffumsatzes ist nun freilich die, zu ermitteln, welcher chemischen Natur die stickstoffhaltigen Exkremente der Hefepflanze sind. — Bezüglich dieser Frage vermögen wir bis jetzt nur Andeutungen zu geben, die indessen weiteren Untersuchungen in dieser Richtung als Anhaltspunkte dienen können. Alle vergorenen Flüssigkeiten, soweit sie bis jetzt untersucht worden sind, geben mit starkem Alkohol Fällungen, an denen freilich die natürlich vorhandenen oder zugesetzten Aschenbestandteile stark beteiligt sind, die aber auch stets organische Substanz in sich enthalten, welche in allen Fällen stickstoffhaltig zu sein scheint**).

Später hat dann Schützenberger***) frische Bierhefe halbe Tage lang mit

*) Hiermit steht nicht in Widerspruch, dass gewöhnliche Hefe an Wasser stickstoffhaltige Materien abgibt, welche von neuem dem Hefepilz als Nahrung dienen können. Die Hefe erhält noch gewissermaassen zwischen ihren organisierten Elementen die Bestandteile der Bierwürze, und ebenso sind ihre Zellen nach den osmotischen Gesetzen mit diesen gesättigt und müssen bei Wasserzusatz notwendig von ihnen abgeben. Hierauf lassen sich im wesentlichen einige Versuche (Liebig: A. a. O., p. 27), aus denen etwas unseren Folgerungen Entgegengesetztes zu resultieren scheint, zurückführen. Die Versuche selbst sind durchaus in Übereinstimmung mit denselben. Der Begriff eines Exkrementes ist auch nicht in erster Linie der einer Ausscheidung, sondern der eines zur neuen Assimilation unfähigen Erzeugnisses, das infolgedessen dauernd ausgeschieden wird. Gelegentliche Ausscheidung der Nahrung kommt bei allen Organismen nach Veränderung der äusseren Bedingungen vor. Ich erinnere an manche Ausscheidungen aus den Wurzeln unserer Landpflanzen beim Versetzen in destilliertes Wasser (I. Teil, p. 383).

**) Eine solche Substanz habe ich z. B. früher schon untersucht; sie war aus einer Gärungsflüssigkeit gewonnen, die aus Zuckerwasser und Hefe bestand, welche letztere in der Flüssigkeit sich stark erschöpft hatte. Dieselbe stellte einen leicht in Wasser löslichen Körper dar, ohne alle charakteristischen Eigenschaften, mit einem Gehalt von 5,7% Stickstoff. Aus Gärflüssigkeiten, denen Pepsin zugesetzt war, habe ich durch Fällen mit Alkohol ähnliche Stoffe erhalten.

***) Compt. rend., 1874, T. 78, p. 49.

Wasser digeriert, also einer Art Selbstgärung*) unterworfen, und dabei zunächst konstatiert, dass alsdann weit mehr Stoffe durch kochendes Wasser ausgezogen werden können als vorher. Derselbe hat sich dann das Verdienst erworben, die auf diese Weise erhaltenen Stoffe, welche als Ausscheidungsprodukte wenigstens grösstenteils angesehen werden können, näher zu untersuchen. Er fand unter anderem ein schwefelhaltiges Leucin und etwas Tyrosin, die ja auch unter den Fäulnisprodukten der Hefe angetroffen worden sind, in diesem Falle aber wohl als normale Umsetzungsprodukte gelten müssen. Daneben wurden noch viele andere bekannten stickstoffhaltigen Abkömmlinge der Proteinstoffe: Xanthin, Sarkin, Guanin, Carnin, wie wir sie auch im Tierkörper antreffen, vorgefunden, aber kein Harnstoff noch Kreatin; weiter eine gummiartige Substanz und Phosphate, welche an sich nicht im kochenden Wasser in dem Maasse löslich sind. Ähnliche Resultate haben auch spätere Versuche von Nägeli ergeben.

Diese Angaben sind für den Ausbau einer Lehre vom Stickstoffumsatz der Gärungsorganismen natürlich von Wichtigkeit, zumal wenn man bedenkt, dass nach den früher besprochenen Ernährungsversuchen das Leucin die Hefepilze nicht mit Stickstoff zu versorgen vermag, und die Harnsäurederivate sich hierin ähnlich zu verhalten scheinen.

Die Resultate unserer heutigen und der unmittelbar vorhergehenden Betrachtungen können wir in folgenden Sätzen zusammenfassen:

- 1) Die Bierhefe (und jedenfalls auch eine jede andere Art von alkoholischer Hefe) besteht wie alle Vegetationen aus Wasser, Cellulose, stickstoffhaltigen Inhaltsstoffen eiweissartiger Natur, geringen Mengen von Fetten und einer Anzahl von andern z. T. noch unbekannten organischen Substanzen, ausserdem aus Aschenbestandteilen, unter welchen phosphorsaures Kali vorwiegt. Magnesium tritt dagegen zurück, Calcium, Schwefel, Eisen sind nur in geringen Mengen vorhanden. Andere Aschenbestandteile sind nur in ganz zurücktretenden Mengen oder nur gelegentlich vorgefunden worden.
- 2) Die stickstoffhaltigen Bestandteile sind im Bierhefepilze, abweichend von den höheren vegetabilischen Organismen, in sehr überwiegenden Mengen, beinahe $\frac{2}{3}$ der Trockensubstanz, vorhanden.
- 3) Durch Gärungserregung in reinem Zuckerwasser erschöpfte Hefe enthält eine beträchtlich verminderte Menge an diesen eiweissartigen Bestandteilen.
- 4) Die Fäulnisprodukte der Bierhefe sind den Produkten der Fäulnis der gewöhnlichen Proteinsubstanzen annähernd gleich.
- 5) Der Hefepilz wächst unter gewöhnlichen Verhältnissen mit dem Zerfall des Zuckers während der Gärung und nimmt an Masse zu, indem seine Vegetation im wesentlichen die Veranlassung zur alkoholischen Gärung ist.
- 6) Damit in einer Flüssigkeit nach geringer Hefeaussaat Gärung erfolgt, müssen also ausser Zucker und Wasser auch Rohmaterialien für die Bildung aller übrigen Elementarbestandteile der Hefe vorhanden sein.

*) Siehe Schluss der 10. Vorlesung.

- 7) Der zum Aufbau der eiweissartigen Bestandteile des Hefepilzes notwendige Stickstoff kann ihm verabreicht werden in der Form von leicht diffusibeln Proteinstoffen von den Eigenschaften der Peptone, zur Not auch in der Form von Ammoniaksalzen und von einigen amidoartigen Körpern. Salpetersaure Salze, welche von den gewöhnlichen Schimmelpilzen mit Vorliebe aufgenommen werden und das tauglichste stickstoffhaltige Nahrungsmittel der höheren Gewächse sind, sowie Hydroxylaminsalze, und soweit bekannt, Alkaloide vermögen den Hefepilz nicht mit Stickstoff zu versorgen.
 - 8) Ein Stickstoffumsatz während der Gärung, d. h. die Ausscheidung stickstoffhaltiger Exkremente von seiten des Hefepilzes ist als erwiesen anzusehen.
-

Neunte Vorlesung.

Der Bedarf der Hefepilze an Aschenbestandteilen. — Sonstige Lebensbedingungen derselben.

Ebenso wie die Frage nach der Stickstoffernährung des Bierhefepilzes, wurde auch durch die Pasteur'schen Untersuchungen begreiflicher Weise die Frage nach dessen Bedürfnis an Aschenbestandteilen angeregt. Wenn die Hefe ein Organismus war und die Gärung durch die Entwicklung dieses Organismus bedingt, dann musste auch die erstere während ihres Wachstums wie alle anderen Organismen mineralische Bestandteile in sich aufnehmen, und die letztere von der Zufuhr solcher Bestandteile in allen Stücken abhängig sein*).

Was der genannte bahnbrechende Forscher indessen Positives in dieser Richtung geleistet hat, lässt sich in wenig Worten zusammenfassen. Derselbe hatte, wie wir in der vorigen Vorlesung ersehen, ausser den nicht näher definierten Substanzen des Hefeextrakts ein unorganisches stickstoffhaltiges Nahrungsmittel des Hefepilzes aufgefunden, und dieses liess sich frei von Aschenbestandteilen herstellen. Damit war die methodologische Grundlage für eine experimentelle Beantwortung der aufgeworfenen Frage vorhanden, und Pasteur hat eine solche Beantwortung insofern gegeben, als er *die Unentbehrlichkeit der Aschenbestandteile überhaupt* nachgewiesen hat. Zuckerlösungen, welche nur Ammoniaksalze beigemischt enthalten, können durch minimale Hefeaussaat nicht in Gärung versetzt werden. Dagegen werden sie vergärungsfähig und also zur Ernährung der Hefepilze geschickt, wenn man ihnen die Aschenbestandteile der Hefe (durch Einäscherung von Bierhefe erhalten) zusetzt**).

Weiter detailliert wurde die Versuchsanstellung von seiten Pasteur's nicht und die Frage nicht ventilirt, welche Bestandteile der Hefenasche unentbehrlich sind, obgleich man gesucht hat, ihm bestimmte Behauptungen in dieser Richtung unter-

*) Qevenne hatte allerdings seiner Zeit, trotzdem dass er die Hefe als Organismus annahm, ihre Aschenbestandteile als zufällig angesehen (J. f. prakt. Chem., B. 14, p. 342).

**) Annal. d. Chim. et Phys. (3), T. 58, p. 388.

zuschieben. Man müsste denn die beiläufige Bemerkung dahin rechnen, dass phosphorsaure Magnesia nicht allein dieselbe Wirkung äussert wie die Gesamtasche. Und doch haben gerade diese Detailfragen ein ganz ausserordentlich grosses allgemeines physiologisches Interesse, welches auch dem Autor dieser Vorlesungen seiner Zeit dazu Veranlassung gab, das berührte Gebiet zum Gegenstande experimenteller Arbeiten zu machen.

Bekanntlich sind die Organismen samt und sonders gewisser unverbrennlicher Bestandteile bedürftig. Allein man hat sich auch noch zu Zeiten, in denen die physiologischen Wissenschaften längst die Kinderschuhe der rohen Empirie ausgetreten hatten, fast durchweg damit begnügt, diese Thatsache namhaft zu machen und aus derselben vorwärts zu schliessen, wie dies bekanntlich für die höheren Gewächse in der Liebig'schen Ersatzlehre mit vieler Konsequenz geschehen ist. Dagegen rückwärts auf die tiefer liegenden Gründe der Erscheinung zu blicken, wie dies einer mannbar gewordenen Disciplin zukommt, hat man mit wenig Ausnahme unterlassen.

Es ist leicht nachzuweisen, dass der Mangel an jener Erörterung uns in vielfache Vorurteile bezüglich der Ausdehnung eines festgestellten Aschenbedürfnisses auf fremde Organismenformen verwickelt hat. Denn es ist ja *a priori* klar, dass, wenn mineralische Stoffe nötig sind, dies nur der Fall sein kann wegen gewisser Hilfeleistungen, welche jene zu wichtigen Lebenserscheinungen innerhalb der Organismen vollziehen — wegen „physiologischer Funktionen“, wie die Sache ausgedrückt wurde. Ist man sich über diese ja gar nicht so tief unter der Oberfläche liegende Bedeutung des Aschenbedürfnisses ernstlich klar geworden, so wird man am besten vor überstürzenden induktorischen Verallgemeinerungen der Unentbehrlichkeit der einzelnen Mineralbestandteile geschützt sein, vor einer Richtung, in welcher in der That manchmal gefehlt worden ist. Denn die physiologischen Leistungen der verschiedenen und selbst von morphologisch einander nahestehenden Organismen, namentlich von Gewächsen, sind ja häufig abweichend genug voneinander, um eine verschiedenartige Beteiligung der Grundstoffe an diesen Funktionen voraussetzen zu dürfen.

Zur Beantwortung der Frage nach der physiologischen Leistung der einzelnen unentbehrlichen Organismenbestandteile sind vorzüglich zwei Wege der Experimentierkunst vorgezeichnet. Einmal die Versuchsanstellung an Individuen einer und derselben Art mit Variation der Zufuhr an dem einzelnen fraglichen Bestandteile. Man vermindert die Zufuhr z. B. eines bestimmten mineralischen Nährstoffs, resp. stellt dieselbe völlig ein und konstatiert die Abänderung in den organischen Leistungen, welche vollzogen werden. — Der andere Weg ist die Vergleichung verschiedenartiger Organismen, welche deutliche Unterschiede in dem Vollzug bestimmter physiologischer Funktionen besitzen, hinsichtlich dieser Unterschiede und zugleich der Differenzen im Aschenbedürfnis.

Diese zweite Methode, die im Gegensatze zu jener „synthetischen“ gewöhnlich die analytische genannt wird und welche man auch als statistische bezeichnen könnte, ist es, um derentwillen das Bedürfnis der Hefepilze, als äusserst einfacher Organismen mit verhältnismässig leicht namhaft zu machenden physiologischen Leistungen, an mineralischen Nährstoffen ein sehr allgemeines Interesse in Anspruch nimmt.

Dieselbe ist ohne besondere neue Versuche ad hoc bereits von uns eingeschlagen durch eine vergleichende Betrachtung der Bestandteile der Hefenasche im Vergleich mit den Aschenbestandteilen der höheren Pflanzen. Wir erinnern uns, dass die Hefenasche sich auszeichnete in erster Linie durch Phosphorsäure, dann durch Kali, und dass daneben alle anderen Bestandteile in den Hintergrund traten, sehr abweichend von der höheren Pflanze, wo oft Kalk oder Kieselsäure sich in den Vordergrund drängen.

In jedem Falle aber, ob man nunmehr diesen Weg oder den anderen eben angedeuteten folgen will, bedarf man einer Vervielfältigung der experimentellen Erfahrung unter willkürlich veränderten Verhältnissen, die z. B. auch bei den höheren Pflanzen einige sehr stark vertretenen Aschenbestandteile, wie die Kieselsäure, als nicht absolut notwendig auszuschcheiden erlaubt hat.

Was nun die Beantwortung auf die so gestellte Frage nach dem Bedarf der Hefepilze an feuerfesten Bestandteilen betrifft, so sehen wir uns leider noch auf wenige Versuche angewiesen. Auch beziehen sich diese, wie beinahe alle anderen Ernährungsstudien über Hefepilze, auf den gewöhnlichen Bierhefepilz. Übrigens darf innerhalb der engen Gruppe von alkohol erzeugenden Saccharomycesarten wohl auf eine völlige Analogie in der Ernährung ohne Skrupel geschlossen werden.

In methodologischer Beziehung sind kaum weitere vorausgehende Bemerkungen zu machen. Da nach früher Klargelegtem der Gärungsverlauf nach minimaler Aussaat als ein unzweideutiges Anzeichen für gedeihliche Entwicklung des gärungserregenden Pilzes angesprochen werden darf, so konnte die Gärungsintensität, gemessen an der entweichenden Kohlensäure, als ein Maassstab für die gelungene Ernährung des Organismus in der gewählten Mischung gebraucht werden.

Dass die Möglichkeit, den Hefepilz mit einem chemisch genau definierbaren und rein darstellbaren stickstoffhaltigen Nährstoffe fortzubringen, eine notwendige Voraussetzung für das fragliche experimentelle Unternehmen war, ist bereits gesagt. Bekanntlich trifft dies für die Proteinstoffe, welche nicht frei von allen Aschenbestandteilen gewonnen werden können, keineswegs zu, und so war also Pasteur's Entdeckung von der Möglichkeit der Ammoniakernährung eine unabweisbar vorausgehende Bedingung*) für die experimentelle Bearbeitung des Aschenbedarfes.

*) Die neueren Ergebnisse über Stickstoffernährung des Bierhefepilzes, von denen wir in der letzten Vorlesung gesprochen haben, haben hieran nichts Wesentliches geändert, da die andern rein darstellbaren stickstoffhaltigen Nährstoffe in der Üppigkeit der ermöglichten Ernährung sich nicht sehr wesentlich vor den Ammoniaksalzen auszeichnen, und jene anderen bestwirkenden wie Peptone eben jenen üblen Umstand mit den eigentlichen Proteinstoffen teilen. — Eine Schwierigkeit für die angestrebte experimentelle Beweisführung liegt in der Trägheit der Ammoniakgärungen (*sit venia verbo*). Dazu kommen einige Missstände, die darin liegen, dass der Zucker nicht ganz frei von allen Aschenbestandteilen erhalten werden kann. — Das ausserordentlich langsame Fortschreiten der Ammoniakgärungen hat schon Pasteur verhindert, solche Gärungen zu Ende, d. h. zum völligen Verbrauch des Zuckers zu bringen. Gärungsflüssigkeiten, die ausschliesslich Ammoniaksalze von stickstoffhaltigen Nährstoffen des Hefepilzes enthalten, sind z. B. auch der spontanen Infektion durch in der Luft zerstreute Pilzkeime schlechthin unzugänglich, während bekanntlich Bierwürzen und Traubenmost ziemlich leicht auf diese Weise in normale alkoholische Gärung geraten. Mir ist es später allerdings gelungen, derartige Gärungen mit Ammoniak zu Ende zu führen, was aber, als ich ein

Bei der Aufführung der Resultate, welche bis jetzt auf diesem Gebiete erlangt werden konnten, wollen wir nun von dem allgemeinen Bedürfnis der höheren Gewächse an feuerfesten Bestandteilen ausgehen, indem wir hierdurch sogleich zu wichtigen Vergleichen aufgefordert werden. *Schwefel* und *Phosphor* sind die beiden metalloiden Bestandteile der Asche der höheren Gewächse, welche unter keinen Umständen entbehrt werden können. *Kalium*, *Calcium*, *Magnesium* und *Eisen* sind die entsprechenden metallischen Elemente.

Wenn man ein Nährstoffgemisch aus diesen Elementen der ein Ammoniaksalz enthaltenden Zuckerlösung zusetzt, so genügt eine minimale Aussaat von lebenskräftigen Hefezellen, um die Flüssigkeit in lebhafte Gärung zu versetzen. Die mineralische Ernährung der höheren Gewächse ist also auch für unseren niedrigen Organismus ausreichend. Also ein Mehr an Aschenbestandteilen ist für den Hefepilz in keinem Falle erforderlich. Vermutlich dagegen ein Minder. Einen Bestandteil glaubte man schon a priori von der Seite der notwendigen streichen zu dürfen.

Das *Eisen*, das von den höheren grünen Gewächsen nur in geringen Mengen und zu einem ganz klarliegenden Zwecke erfordert wird, nämlich zur Ausbildung des Chlorophyllfarbstoffes selber, konnte, wie man früher meinte, von dem Bierhefepilze ohne Schaden entbehrt werden, eben weil dieser kein Chlorophyll in seinem Zellinhalte ausbildet. Aber dies war kein experimentelles Resultat, sondern mehr eine Schlussfolgerung, freilich eine solche, die ziemlich sicher schien; denn so wenig man sich sonst noch im allgemeinen Rechenschaft zu geben pflegt von den spezifischen organischen Leistungen einzelner Nährstoffe, so war doch hier die Beziehung zu offenbar, dass jene Folgerungen nicht ziemlich allgemein wären gezogen worden. Daher sah man schon in den ersten Experimenten von dem Zusatz von Eisenverbindungen ab und setzte alle Gärungsgemische ohne Rücksicht auf dieses Element zusammen, so dass bei der vollen Vergärungsfähigkeit dieser Gemische auch der experimentelle Nachweis der Entbehrlichkeit des Eisens für den Bierhefepilz und selbstredend auch für alle *Saccharomyces*arten als erbracht angesehen wurde, wobei man es nur für überflüssig hielt, die produzierte Hefesubstanz noch besonders auf einen Gehalt an diesem Metalle zu untersuchen. Auch wird man sich erinnern, dass in der Asche der rohen Bierhefe dieser selbe Bestandteil in mehreren Analysen gar nicht als nachgewiesen erwähnt wurde, woraus natürlich das nämliche zu folgern war, insofern ein Übersehen dieses Elementes doch wenig wahrscheinlich erschien. Trotz alledem scheint die gemachte Schlussfolgerung verfrüht gewesen zu sein. Nach sehr exakten neuen Versuchen von Molisch kann nämlich das Eisen für die Ernährung der Hefe sowohl als von anderen Pilzen nicht entbehrt werden, oder auch nur ersetzt werden durch Kobalt, Mangan oder Nickel. Doch sind nur äusserst kleine Mengen davon erforderlich, daher diese Thatsache früher übersehen werden konnte*).

Die Gärungsgemische, von denen bei den eigentlichen Ernährungsversuchen Ausgang genommen wurde, enthielten nur Aschenbestandteile in sich und zwar in Form von chemischen Verbindungen, wie sie auch für die Kultur höherer Gewächse volles Pfund Zucker durch minimale Aussaat in Gärung versetzte, bei Zimmertemperatur über ein Jahr und auch sonst verhältnismässig lange Zeit in Anspruch nahm.

*) Vergl. Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. in Wien, 103, 1. Okt. 1894.

in Nährstofflösung angewendet werden. Es wurde zunächst den Zuckerlösungen ausser dem salpetersauren Ammoniak beigemengt:

saures phosphorsaures Kali, KH_2PO_4

krystallisierte schwefelsaure Magnesia, $\text{MgSO}_4 + 7 \text{H}_2\text{O}$

und dreibasisch phosphorsaurer Kalk, $\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8$

und zwar von dem ersten beginnend in wesentlich absteigenden Mengen. Die Gärung ging bei Zusatz von solchen Salzgemischen nach vorgenommener minimaler Aussaat so gut von statten, als sie nur überhaupt ohne organische stickstoffhaltige Stoffe sich abzuwickeln pflegt. Eine völlige Vergärung 15 %iger Zuckerlösungen bei günstigen Sommertemperaturen innerhalb $1\frac{1}{2}$ bis 2 Monaten war in einer grösseren Versuchreihe die Regel.

Auch auf die relativen Mischungsverhältnisse und ebenso auf die Konzentrationsverhältnisse der einzelnen Salze wurde in besonders zu diesem Zwecke angestellten Versuchen Rücksicht genommen, und es wurde so festgestellt, dass das phosphorsaure Kali in der Mischung zweckmässig über die andern Aschenbestandteile überwiegt, ferner dass der Bierhefepilz im Vergleich mit den höheren Gewächsen sehr unempfindlich ist gegen verhältnismässig grosse Konzentrationen der Nährsalze, wie wir heute noch weiter sehen werden, dass er nicht so leicht durch für Organismen schädliche Stoffe in seinem Gedeihen beeinträchtigt wird. So erwiesen sich beispielsweise Lösungen, welche ein ganzes Prozent nur von einem einzigen löslichen Salze, zusammen mehrere Prozente an unorganischen Salzen enthielten, sogar als bestvergärungsfähig, während wir die Gesamtnährstoffkonzentration für unsere höheren Gewächse ohne Schaden nicht über ein halbes Prozent erhöhen dürfen.

Von jenen drei Salzen, die also gewissermaassen eine normale mineralische Ernährung repräsentierten, wurde nun Ausgang genommen für die weiteren Versuchsanstellungen. Einzelne Elemente wurden weggelassen. Für das Calcium und das Kalium konnte dies in einfachster Weise bewerkstelligt werden, weil diese beiden Metalle mit dem gleichen metalloiden Elemente zu einem Salze verbunden waren, man also mit Entfernung des einen oder des anderen Salzes nicht gleich auch ein anderes Element mit entfernte.

Die Ausschliessung des phosphorsauren *Kali* hatte nun aber einen sehr verschiedenen Effekt von der Entfernthaltung des Kalkphosphats. Ein jeder Gärungsversuch in einem Gemisch, das kaliumfrei war, missglückte auf das vollständigste und verhielt sich genau so, als wenn gar keine Aschenbestandteile zugesetzt worden wären. Und dabei wurde auch dem möglich erscheinenden Einwande begegnet, dass vielleicht ein Gemisch aus schwefelsaurer Magnesia und phosphorsauerm Kalk eine spezifisch ungünstig chemische Form darstelle, und dass besonders in einem solchen bei der langsam von statten gehenden Lösung des phosphorsauren Kalkes in der kohensäureerzeugenden Flüssigkeit Mangel an verfügbarer Phosphorsäure geherrscht haben möge, denn das gewöhnliche zweibasisch phosphorsaure Natron, Na_2HPO_4 , erwies sich, in verschiedenen Mengen dem Gärungsgemische zugesetzt, als durchaus unfähig, den Hefepilz zu ernähren und die Zersetzung des Zuckers zu ermöglichen*).

*) Hierauf lassen sich auch im wesentlichen die späteren Versuchsergebnisse Knapp's

Das *Kalium* muss mithin als ein schlechthin unentbehrlicher Bestandteil des Bierhefepilzes angesehen werden, und dies Resultat wird uns gewiss nicht befremden, ebenso sehr deshalb, weil bis jetzt mit voller Sicherheit noch kein Organismus aufgefunden ist, der dieses Alkalimetalls entraten könnte, als auch, weil das Kalium in der Hefenasche neben Phosphor die Hauptrolle spielt. Ein ganz überwiegend vorherrschender Aschenbestandteil ist aber nur in den seltensten Fällen als entbehrlich erwiesen worden.

Ein ganz anderes Versuchsergebnis ergab sich für den Ausschluss des phosphorsauren *Kalkes*. Es wurden zwar in den ersten Versuchsreihen bei Ausschluss dieses Salzes und damit des *Calciums* etwas geringere Gärungsintensitäten erlangt als mit dem Normalnährstoffgemisch; allein solche untergeordneten Unterschiede sind gewöhnlich nur durch verschieden günstige chemische Form der verabreichten Nährstoffe bedingt, oder sie sind gar nur auf zufällige Verschiedenheiten zu deuten. Jedenfalls gelang der Ausschluss, ohne die alkoholische Gärung zu verhindern. In einzelnen Fällen wurde dieselbe unter diesen Umständen sogar nahezu zu Ende geführt. In späteren Versuchsreihen wurde dann meistens von dem Zusatz eines Kalksalzes ganz abgesehen und gute Gärungsintensitäten erzielt. Zusätze von Gips zu kalkfreien Gärungsflüssigkeiten hatten überdies keinen in die Augen fallenden Erfolg, so dass das Calcium in der That für unseren Fall als ein entbehrliches Element erscheint, wenn auch leider die direkte Prüfung der neugebildeten Hefe auf Spuren von vorhandenem Kalk damals unterlassen wurde. Dazu kommt dann als Beweismittel noch der geringe Gehalt an Kalk in der rohen Bierhefe, der nach einzelnen Analysen wirklich zu ganz unbedeutenden Mengen zusammenschrumpft. Kurz, das gefolgerte Resultat konnte schon zur Zeit der in Rede stehenden Versuche als ein mutmaasslich feststehendes bezeichnet werden und ist denn auch später durch die einschlagenden exakteren Versuche von Molisch*) bestätigt worden.

Ist dies wirklich der Fall, so ergibt sich wenigstens aus diesem Verhalten eine interessante Beziehung zwischen unentbehrlichen Nährstoffen und mehr oder minder scharf zu bezeichnenden Funktionen, um derentwillen uns diese Unentbehrlichkeit verständlich erscheint. Das Calcium wird freilich in den höheren Gewächsen zu mehreren organischen Leistungen in eine Beziehung gebracht; aber jedenfalls ist das Auftreten dieses Elementes in den Blattorganen**) vor allem auffällig, so dunkel noch durch diesen Hinweis auf eine bestimmte Funktion***) hingedeutet wird. Pilze

zurückführen, der Zusatz von Kalisalzen zu gärenden Gemischen zuträglicher fand als solchen von Natronsalzen. Im übrigen sind diese Versuche nicht dazu angethan, um weitere Schlüsse aus ihnen zu ziehen. Vgl. *Annal. d. Chem. u. Pharm.*, 1872, p. 65. Dasselbe gilt von den Versuchen Dubrunfaut's (Schützenberger: *Gärungserscheinungen*, p. 89), nach welchen Kali-, Ammon- und Phosphorsäuresalze am günstigsten wirkten. Teilweise mag es sich dabei auch noch um direkte Beeinflussungen des Gärprozesses, der ja, wie wir später sehen werden, mit der Hefevegetation zeitlich nicht völlig identisch ist, durch die verschiedenen Salze handeln.

*) Sitzungsber. d. kaiserl. Akad. d. Wissensch. in Wien, 103, Abt. 1, 1894, Okt.

**) Man denke an die beinahe gänzliche Abwesenheit dieses Elementes in den bleichen Teilen der panachierten Blätter, in der auf dem kalkreichen Klee sich entwickelnden *Cuscuta trifolii*. Vergl. *Agrikulturchemie*, I. Teil, p. 284 u. 85.

***) In Bezug auf dieselbe vergl. die Beobachtungen O. Loew's ebenda.

haben nun nichts einem Blattorgane von fern Ähnliches, und so erscheint die Entbehrlichkeit des Calciums für diese erklärt.

So ist uns also, wenigstens durch einen entfernten Hinweis, einigermaassen verständlich, warum auch der Hefepilz des Calciums entraten kann. Zu erwähnen ist dabei, dass auch für andere Pilze*) die Entbehrlichkeit des Kalks bewiesen worden ist.

Das *Magnesium*, welches chemisch häufig in die Nähe des Calciums gesetzt wird, ist diesem bekanntlich physiologisch wenig gleichwertig. Mag es in Tier und Pflanzen in geringeren Mengen als das Calcium, z. T. als treuer Begleiter desselben vorkommen, so ist doch seine Verbreitung gleichmässiger, seine Beziehung zu allen wichtigen Lebenserscheinungen, also schon zu den Vorgängen im Zellprotoplasma, mehr in die Augen fallend. So wird das Magnesium in grösseren Mengen in allen Samen aufgespeichert, aus denen das Calcium häufig gerade in der Reifezeit mehr und mehr verschwindet**). Vielleicht durfte man hiernach schon die Unentbehrlichkeit des fraglichen Erdmetalls für den Hefepilz erwarten. Auch ist der Gehalt der rohen Hefe an Magnesium grösser und regelmässiger als an Calcium und auch absolut nicht ganz unbedeutend.

Die Versuche ergaben, dass, wenn eine genügende Menge von Kalium, Phosphor und Schwefel (in welcher Form dieser letztere, werden wir gleich sehen) vorhanden war, aber kein Magnesium verabreicht wurde, zwar nicht ganz unerhebliche Gärungsintensitäten erreicht werden konnten, aber schliesslich doch nach einiger Zeit die Gärung erlahmte und dauernd unvollendet blieb, so dass eine sehr deutliche Beeinflussung kenntlich wurde. Auch durch Kalksalze konnten die Magnesiasalze in dieser so konstatierten Leistung nicht vertreten werden. Dagegen erschien es gleichgültig, ob das Magnesium als schwefelsaures Salz oder, wie dies in manchen Versuchen geschah, als phosphorsaure Ammoniakmagnesia hinzugefügt wurde.

Die vorliegenden Versuche sprechen also entschieden dafür, dass das Magnesium von dem Bierhefepilz nicht dauernd entbehrt werden kann. In der That ist diese Folgerung später durch sehr genaue Versuche in sehr reinen Lösungen bestätigt worden***).

Das *Natrium* hat wie für die höheren Gewächse, so auch für *Saccharomyces cerevisiae* keine hervorstechende Bedeutung, wie schon aus der Zusammensetzung des den vorliegenden Versuchen zu Grunde liegenden Normalaschengemisches hervorgeht. Aber auch ein gelegentlicher Zusatz von phosphorsaurem Natron zu dem schon verabreichten phosphorsauren Kali hatte keinen sichtbar günstigen Effekt auf den Gärungsverlauf.

Von metalloïdischen Bestandteilen wollten wir unser Augenmerk auf Schwefel und Phosphor richten, zwei für alle bis jetzt in dieser Richtung untersuchten Organismen durchaus unentbehrliche Elemente. Die natürliche Hefe enthält diese beiden Stoffe mit ausnahmsloser Regelmässigkeit, und wenn auch Analysen von Hefenasche vorliegen, in welchen der Schwefel fehlt, so liegt dies an der Methode der Aschengewinnung, nicht an dem wirklichen Mangel an diesem Elemente†).

*) Vgl. z. B. Raulin: *Compt. rend.*, T. 56, p. 229.

**) Arendt: *Die Haferpflanze*, 1859, p. 148.

***) Molisch: *A. a. O.*, u. Winogradsky: *Botan. Centralbl.*, 1884, 20, p. 165.

†) Vgl. p. 115, Anm. **).

Was nun den Nachweis der Notwendigkeit oder Entbehrlichkeit für dieses Element angeht, so haben die bis dahin vorliegenden Versuche keinen völligen Entscheid bringen können. Die Frage steht natürlich im Zusammenhang mit der allgemeinen Frage nach der Konstitution der Eiweissstoffe und ob diese auch bestehen können ohne Schwefel. Für die besser bekannten Eiweissstoffe der höheren Organismen muss diese Frage ohne Zweifel bejaht werden; aber damit ist noch nicht ausgemacht, ob dasselbe gilt für die analogen Stoffe bei niedrigen Organismen bis zu den Spaltpilzen hinab, in Bezug auf welche ja auch im übrigen manche Konstitutionsunterschiede — ich erinnere an die der Zellhaut — bestehen.

In den vorliegenden Ernährungsversuchen nun deutet sehr vieles darauf hin, als ob der Schwefel von dem Hefepilz entbehrt werden könnte. Die schwefelsauren Salze hatten gar keinen bemerkbaren Einfluss als solche auf Hefeentwicklung und Gärung und konnten durch andere Salze der betreffenden Basis ersetzt werden. Einen Unterschied in der Aufnahme des Schwefels zwischen höheren und niedrigen Pflanzen haben also diese Versuche in jedem Falle aufgewiesen, insofern die schwefelsauren Salze, die einzige Quelle des Schwefels für die höheren Gewächse, in allen Versuchen sich als wirkungslos für den Gärungsverlauf erwiesen. Trotzdem konnte in der so erzeugten Hefe stets etwas Schwefel nachgewiesen werden. Es gelang auch, den Ursprung jener geringen Mengen von Schwefel aufzufinden, welche bei den Versuchen in der gebildeten Hefe stets vorgefunden wurden, nämlich im Zucker, in welchem einige Tausendel Prozente regelmässig anzutreffen sind. Trotzdem konnte der Ausschluss nicht bewirkt werden, indem weder durch Umkrystallisieren noch durch Behandeln der Lösung mit Chlorbarium, noch auf irgend eine andere Weise der Zucker völlig schwefelfrei zu erhalten war*). Und zwar zeigte die Berechnung, dass der Schwefel des Zuckers, wenn er ganz assimiliert werden konnte, eben genügend war für den Gehalt der Proteinstoffe der neugebildeten Hefe an diesem Elemente. Es darf also keineswegs der weittragende Satz der Entbehrlichkeit des Schwefels für unsere Pilzart auf Grund der vorliegenden Versuche behauptet werden.

Aber das ist doch mindestens als Resultat aus diesen Versuchen hervorgegangen, dass die schwefelsauren Salze keine geeignete Quelle für den Schwefelgehalt der Hefepilze sind; denn es ist sogar gelungen, Gärungsgemische, die vorher mit Chlorbarium behandelt waren oder solches noch enthielten, zur Vergärung und Hefebildung zu bringen. Zwei hochoxydierte Säuren, Salpetersäure und Schwefelsäure, sind in ihren Salzen vorzügliche Nahrungsmittel der gesamten höheren Pflanzenwelt. Beide sind für unsere *Saccharomyces*arten unverwertbar, und diese müssen die zu Grunde liegenden Elemente in einer sauerstoffärmeren Form aufnehmen, als

*) Ich habe mir damals viele Mühe gegeben, den Zucker von den unbekannten beigemengten schwefelhaltigen Stoffen zu reinigen, aber alles umsonst. Da bei dem gleichzeitigen Auftreten sehr geringer Mengen von Stickstoff an Vorhandensein des Schwefels in Form von Proteinstoffen gedacht werden konnte, so habe ich Filtrieren über sorgfältig von schwefelsauren Salzen befreite Knochenkohle, Dialyse durch Pergamentpapier, Fällen mit Tannin versucht, alles ohne den gewünschten Erfolg. Ich habe selbst die voraussichtlich bestehende schwefelassimilierende Kraft der Hefepilze selber zum gleichen Zwecke in Anspruch genommen, ohne zum gewünschten Ziele zu gelangen.

Ammoniak und vermutlich als stickstoffhaltige organische Stoffe unbekannter Zusammensetzung*).

Der *Phosphor* wurde wie das Kalium nicht bloss bei allen anderen Organismen als wesentlicher Bestandteil vorgefunden, sondern auch speziell in der Bierhefe in so grossen Mengen regelmässig angetroffen, dass dessen Unentbehrlichkeit für die *Saccharomyces*-arten vorauszusehen war. Dasselbe haben nun die einschlagenden Versuche mit aller möglichen Bestimmtheit ergeben. Eine irgendwie mächtige Entwicklung der Gärung und der Hefepilze war nur möglich, wenn wenigstens Phosphorsäure neben dem Kali gegeben wurde. Diese beiden Bestandteile zusammen genügten aber, um eine Zeit lang die minimale Aussaat zu üppiger Vermehrung anzutreiben.

Auch das übrige, was sonst noch über Ernährung des Hefepilzes ausser dessen Stickstoff- und Mineralstoffbedarf bekannt geworden ist, mag hier angereiht werden. Dahin gehören unter anderem die Konzentrationsverhältnisse in Bezug auf Zucker, worüber wir von Wiesner einige eingehende Mitteilungen besitzen**). Die in dieser Richtung sich ergebenden Resultate wurden auf die Notwendigkeit eines bestimmt eingeschränkten Wassergehalts der Hefezellen selber, wofür von dem gleichen Forscher experimentelle Belege beigebracht worden sind, zurückgeführt, insofern nämlich dieser Wassergehalt vermittelt osmotischer Erscheinungen durch die ausserhalb der Zelle bestehenden Konzentrationen regiert wird.

Wiesner fand, dass Hefezellen mit etwa zwischen 40 und 80 % Wassergehalt vegetationsfähig sind und als solche Gärung erregen; sie können jedoch langsam, durch Austrocknung an der Luft wasserärmer gemacht, ihre Lebensfähigkeit bewahren, so dass sie dann später, in Zuckerlösungen von geeigneter Konzentration gebracht, die normale Menge Wasser aufnehmen, Sprossungen treiben und Gärung erregen. *Rasche* Wasserzufuhr oder -Entziehung, was auch durch Konzentrationsänderungen der umgebenden Flüssigkeit bewerkstelligt werden kann, können die Hefezellen töten. Es treten dabei eigentümliche Anordnungen der vom Zellplasma eingeschlossenen Vakuolen ein, woran der Zustand des Todes unter diesen Umständen zu erkennen ist.

Mit diesen Beobachtungen steht nun im innigsten Zusammenhang, dass in Zuckerlösungen***) von über 35 % nur sehr unvollständige Gärung bewirkt werden kann, und dass sie bei wenig höherer Konzentration durchaus zur Unmöglichkeit wird. Unter diesen Umständen wird eben den Hefezellen das Wasser weiter als

*) Man muss hier natürlich, wie auch schon eben angedeutet, an Stoffe aus der Proteingruppe denken, da im Zucker auch Stickstoff in dieser Voraussetzung beinahe entsprechenden Mengen angetroffen wird, und wird sich wundern, warum der gleiche Zucker nicht auch für die Stickstoffernährung des Pilzes zureichend war, während er in dieser Richtung gar nichts Merkliches zu leisten vermochte. Hier kommt vielleicht der Unterschied in Betracht, welcher zwischen Elementen besteht, die bloss angesetzt und späterhin möglicherweise immer wieder verwendet, und solchen, die stetig umgesetzt werden müssen.

**) Sitzungsber. der Wiener Akademie, B. 59, 1869, Märzheft.

***) In diesen Versuchen handelt es sich immer um Rohrzucker.

bis zu 40 % entzogen. Aus demselben Grunde wirken auch konzentrierte Glycerinlösungen schädigend. Nach der anderen Seite der Konzentrationsverminderung hin liegt hier keine absolute Grenze. Diese Empfindlichkeit der Hefepilze gegen starke Konzentrationen von Zucker zu kennen, ist natürlich auch von einem gewissen praktischen Interesse, weil manche Konservierungsmethoden damit im Zusammenhang stehen.

Nach ähnlichen Versuchen*), die mit Schimmelpilzen vorgenommen wurden, ergibt sich, dass die Grenzen der Konzentration, bei welchen Ernährung derselben noch möglich ist, folgende sind:

für Traubenzucker	51—55 %
„ Glycerin	37—43 „
„ Natronsalpeter	16—21 „
„ Chlorkalium	16—18 „
„ Chlornatrium	12—18 „

und dass unter drei untersuchten Formen der gemeine Schimmel, *Penicillium glaucum*, am unempfindlichsten gegen hohe Konzentration war.

Dabei sinkt natürlich Wachstum und Grösse des Pilzes, während die Membran dicker wird.

Als Konzentrationsoptimum für die Gärungsintensität und die Vollständigkeit der Vergärung kann nach einigen einschlagenden Versuchen von Jodlbauer 8 % Zucker in der Gärflüssigkeit bezeichnet werden**).

Es mag weiter an dieser Stelle noch von der Abhängigkeit des Gedeihens des Hefepilzes, von der Anwesenheit fremder gelösten Stoffe in der Vegetationsflüssigkeit die Rede sein — ein Gegenstand, der mit einer Aufzählung einer Reihe von That-sachen zu erledigen ist, aber gleichwohl wieder aus leichtverständlichen Gründen eine erhebliche praktische Bedeutung besitzt.

Substanzen, welche den übrigen Organismen gegenüber sich wie Gifte verhalten, schädigen im allgemeinen auch Leben und Gedeihen unserer Gärungsorganismen. Nur tritt auch hier wieder die verhältnismässig grosse Unempfindlichkeit der niederen Organismen uns entgegen, auf die wir schon früher gelegentlich der Nährstoffkonzentrationen aufmerksam gemacht haben. So werden von den Hefepilzen Blausäure, Antimonsalze, ja selbst die hervorragenden Konservierungsmittel, Karbolsäure und Salicylsäure***), arsenige Säure und Borsäure†), die ja doch wesentlich eben wegen ihrer Giftigkeit niedrigen Organismen gegenüber als solche ihren Ruf erlangt haben, bis zu nicht ganz unerheblichen Konzentrationen ertragen, ebenso

*) Vgl. Eschenhagen: Inaugural-Dissertation, Leipzig 1889. Aus den Resultaten dieser Untersuchung ergibt sich eine Beziehung der sogen. Isotonie (vgl. hierüber dieses Lehrb., I. Teil, p. 351) zur Giftigkeit.

**) Zeitschr. des Ver. f. Rübenzuckerindustrie, 1888, p. 308.

***) Diese wirken übrigens in grösseren Mengen auch rein chemischen Fermentthätigkeiten entgegen, während solche sonst von den Gärungsgiften unberührt bleiben. Vgl. Plugge: Berliner Berichte, 1872, p. 219. Vgl. auch H. Fleck: Benzoësäure, Karbolsäure, Salicylsäure etc., 1875, wonach die Wirkung dieser aromatischen Säuren auf die Hefe eine untergeordnete ist.

†) Quevenne: Journ. f. prakt. Chem., B. 14, p. 463.

auch Schwefelwasserstoff und Schwefelkohlenstoff. Am schädlichsten scheint ihnen Chloroform*) und eines der vorzüglichsten aller Konservierungsmittel, das Quecksilberchlorid, zu sein, welches aber leider seiner grossen Giftigkeit wegen nur eine beschränkte Anwendbarkeit besitzt**). Sehr ungünstig wirken auch freies Chlor und Jod, auch übermangansaures Kali. Von Salzen der leichten Metalle erträgt der Hefepilz im allgemeinen grosse Quantitäten aller nicht sehr das Leben der höheren Organismen beeinträchtigenden Stoffe, ohne in seiner Entwicklung wesentlich zu leiden; so nachgewiesen für Chlorcalcium, Eisen-, Thonerde- und Mangansalze***).

Dagegen ist unser Pilz sehr empfindlich gegen freie Alkalien (die überhaupt nur in äusserster Verdünnung von manchen Bakterien ertragen zu werden scheinen) und gegen grössere Mengen von kieselsauren und kohlensauren Alkalien†); viel weniger auch gegen freie Mineralsäuren und organische Säuren, empfindlicher dagegen für Gerbsäure.

Nach Dumas kann von Alkalien nur soviel ertragen werden, als durch die aus dem Hefepilze selbst sich erzeugende Säure rasch wieder neutralisiert werden kann, von Säuren dagegen 100mal das Äquivalent von der in der Hefe schon anwesenden Säure.

Gegen ein für Tiere höchst giftiges Pflanzenalkaloid, das Strychnin, hat Schwann††) die Hefe unempfindlich gefunden; doch ist die hierauf begründete Unterscheidung zwischen tierischen und pflanzlichen Giften nicht streng durchführbar.

Schwefelige, sowie auch salpetrige Säure wirken in irgend erheblicheren Mengen giftig auf den Hefepilz wie auf die höheren pflanzlichen Organismen ein. Es beruht hierauf das sogenannte Stummmachen des Mostes durch schwefelige Säure, das unter anderem bei der Entschleimmethode angewendet wird, um die Gärung so lange zu verhindern, bis ein Teil der suspendierten Stoffe, von denen man bei manchen Rebsorten einen ungünstigen Einfluss auf die Beschaffenheit des Weines voraussetzt, zu Boden

*) Müntz: Compt. rend., T. 80, p. 1212. Versuche über Vergiftung der Hefe sind auch schon seiner Zeit von Dumas angestellt, indem er Hefe drei Tage lang in gesättigten Salzlösungen liegen liess. Dabei waren die meisten ohne grosse Einwirkung geblieben, aber essigsaures Kali, Cyankalium und Schwefelnatrium hatten die Hefe völlig getötet, auch Kochsalz, Alkalinitrate und Chromate hatten dieselbe Wirkung, dagegen die Invertierung des Zuckers nicht verhindern können. Abgestorbene Hefe kann leicht erkannt werden durch Färben des Inhalts mit in Glycerin gelösten Anilinfarbstoffen unter dem Mikroskop (Harz). — Interessant ist noch die Beobachtung, dass manche Antiseptica, welche die Hefeernährung beeinträchtigen, die augenblickliche Gärungsintensität erhöhen. Dies ist nur zu begreifen im Zusammenhang mit Gesichtspunkten, welche in der 10. Vorlesung besprochen werden sollen. Vgl. Centralbl. f. Agrikulturchem., 92, p. 358.

**) Mitscherlich: Poggend. Annal., B. 135, p. 95. Lösungen von 4 % erlauben, Früchte jahrelang in ihrem natürl. Aussehen für Sammlungszwecke zu konservieren (Hilgard).

***)) Meine Untersuchungen über die alkohol. Gärung etc., 1869, p. 40.

†) Naturforscher, 1872, Nr. 43. Vgl. auch eine Zusammenstellung über hemmende Wirkungen: Agrikulturchem. Centralbl., 1872, p. 376; R. Wagner: Journ. f. prakt. Chem., B. 45, p. 246; ferner Mach: Annal. d. Önologie, IV, p. 373.

††) Siehe weiter oben Vorlesung III, p. 42. Dasselbe ist für Chinolin nachgewiesen, während für Chinin die Empfindlichkeit schon grösser ist. Vgl. Donath: Ber. d. chem. Gesellschaft, 14, p. 1771.

gefallen ist. Durch Berührung mit Luft beim Ablassen wird dann die schwefelige Säure teilweise zu der minder schädlichen Schwefelsäure oxydiert, und dann beginnt die alkoholische Gärung. Weit empfindlicher als die Alkoholgärungspilze sind indessen gewisse Pilze, welche zu sog. Weinkrankheiten in Beziehung stehen*), gegen die Einflüsse der schwefeligen Säure. Jedenfalls steht diese Thatsache mit dem Sauerstoffbedarf, der für die meisten der betreffenden Formen charakteristisch ist, in nahem Zusammenhang. Dieses Element wird ihnen einfach von der gleichfalls sauerstoffbegierigen schwefeligen Säure vorenthalten.

Auch hierin haben wir es mit einer Thatsache von grosser praktischer Bedeutung zu thun, indem man durch einen sehr geringen Zusatz von dem genannten Stoffe (schwaches Einbrennen der Fässer mit Schwefelschnitten) die Entwicklung der Weinkrankheiten einschränken kann, ohne die Gärung selber sehr zu behelligen — ein Verhalten, von dem durch die Praxis in der That die ausgedehnteste Anwendung gemacht wird. — Übrigens muss in Bezug auf alle vorausgehenden Angaben die Bemerkung gemacht werden, dass nicht immer genügend zwischen Tötung des Hefepilzes und Vernichtung von dessen Gärungsfähigkeit unterschieden worden ist.

Eine besondere Erwähnung verdient hier noch der Einfluss der Fluoride auf die gärungsverursachenden Organismen, auf welchen man zur Zeit grosse Hoffnungen hinsichtlich der dadurch zu erzielenden Reinheit der Gärung setzt, indem der schädliche Einfluss derselben viel stärker auf die Spaltpilze als auf die Hefepilze zu sein scheint, ja von mancher Seite eine positiv günstige Beeinflussung auf die letzteren behauptet wird. Es scheint auf diese Weise in der That zu gelingen, die Gärung der Spiritusmaische mehr und mehr bakterienfrei durchzuführen, während man früher absichtlich Milchsäuregärung zuliess, um durch die so erlangte Säure schädlichere Bakterien abzuwehren**).

Die noch vielfach widersprechenden Ansichten über diesen Gegenstand dürften auf die Weise Erklärung finden, dass in späteren Untersuchungen eine sehr auffallende Gewöhnung der niedrigen Organismen an diese Beifügung beobachtet werden konnte***).

Aus einem ganz ähnlichen Gesichtspunkte ist auch der Hopfenzusatz zur Bierwürze zu betrachten, indem das Hopfenöl und das darin gelöste Hopfenharz schwach konservierende Eigenschaften und zwar solche, die sich dem Leben der Bakterien mehr feindlich erweisen als dem Leben der Hefepilze, besitzen. Das Hopfenöl ist ein Gemisch von verschiedenen ätherischen Ölen, von denen eines etwas sauerstoffhaltig ist.

*) Vgl. Vorlesung XIII. Die Wirkung des schwefeligen Kalkes auf die Gärung scheint zu unvollkommen zu sein, um den Gebrauch dieses Stoffes zum „Stummmachen“ zu ermöglichen. Vgl. F. Ravizza: Staz. Sper. Agr., 24, p. 593.

**) Vgl. M. Märcker: Bericht der Versuchsstation Halle im Jahre 1894, p. 49.

***) Vgl. über diesen Gegenstand namentlich die neuen Untersuchungen von Effront und von Sorel, die in den Compt. rend. veröffentlicht und worüber in den Chem. Ber. referiert worden, z. B. 1895, 27. R., p. 169 u. 672. Bei diesen Untersuchungen wurde auch eine reinere Gärung (weniger Glycerin und Bernsteinsäure) durch die mit Fluoriden behandelte Hefe beobachtet, eine Thatsache, die bei ihrer Bestätigung noch von erheblicher theoretischer Bedeutung werden dürfte, ebenso wie der angebliche Befund, dass die Essigbakterien unter diesen Bedingungen den Alkohol zu Kohlensäure und Wasser und beinahe nicht zu Essigsäure oxydieren.

Weiter ist auch hier schon der Platz, darauf aufmerksam zu machen, dass auch viele Ausscheidungsprodukte der niedrigen Organismen als Giftstoffe für sie selber figurieren. In erster Linie ist hier der Alkohol selbst zu nennen, dann die verschiedenen Fettsäuren als Produkte von Bakteriengärungen. Natürlich ist hierbei jeder Organismus gegen die Wirkung seiner eigenen Ausscheidungen verhältnismässig unempfindlich, wie schon die Saccharomyceten sich vor den alkohol erzeugenden Mucorarten in dieser Beziehung auszeichnen*).

So ist auch in der Praxis eine Schwergärigkeit von Rübenmelasse beobachtet, einfach durch die Anwesenheit von freier Buttersäure**), die offenbar durch Nebengärungen (vielleicht schon in den Diffusionsgefässen oder in den faulenden Rüben selber) entstanden sein musste.

Dies ist also ein Beispiel dafür, wie Gärungsprodukte in hohem Maasse gärungsfeindlich wirken können, eine Analogie zu der vermutlichen Ursache der Immunität infolge von Durchseuchung bei der Thätigkeit pathogener Bakterien im Tierkörper. Ganz analog ist auch ein Nährboden in Bezug auf Mucor gleichsam durchseucht, wenn sich durch seine eigene Thätigkeit einige Prozente Alkohol angehäuft haben, und ganz ähnliche Verhältnisse werden wir später bei der Milchsäuregärung finden. Die wilden Hefearten (im Sinne Hansen's) sind in allen diesen Beziehungen unempfindlicher als die Kulturhefen, natürlich ein Grund, dass diese häufig von jenen überwuchert werden.

Im Anschluss an die Betrachtungen von den verschiedenen Lebensbedingungen unserer Saccharomycesarten mag dann auch noch von der Abhängigkeit dieser von Wärmeverhältnissen die Rede sein. Zu scheiden sind natürlich auch hier die Temperaturgrenzen der Existenz des Organismus und die Temperaturverhältnisse seines üppigen Gedeihens und damit im Zusammenhang des Gärungsprozesses.

Die untere Tötungstemperatur des Hefepilzes ist meines Wissens noch nicht festgestellt worden und liegt voraussichtlich, sowie nach den vorhandenen Untersuchungen sehr tief. Ich sage voraussichtlich tief; da die Regel von der Unempfindlichkeit gegen niedrige Temperaturen von kleinzelligen Organismen überhaupt zu gelten scheint. Im Hinblick auf die Schumacher'schen Versuchsergebnisse kann man wohl aussprechen, dass die Hefepilze schlechthin nicht erfrieren***). Ja, es ist angegeben worden, dass selbst bei -113° C. feuchte Hefe nicht zu Grunde geht†).

Die obere Grenztemperatur des Bestehens für unsere Pilzform ist eine sehr verschiedene im trockenen und im feuchten Zustand. Aus den Wiesner'schen früher angeführten Untersuchungen scheint zu folgen, dass getrocknete Hefe um so höhere Temperaturen ohne Einbusse ihrer Lebensfähigkeit wird ertragen können, je langsamer der Trocknungsprozess und die Temperaturerhöhung vorgenommen wird, da

*) Vgl. Vorlesung 6, p. 101, Anm. **). Als beste Konservierungsflüssigkeit für lebende Hefe ist jüngst durch Hansen einfach Zuckerwasser bei Zimmertemperatur empfohlen worden.

**) A. T. Neale ref. d. M. Märcker in Neue Zeitschr. der Rübenzuckerindustrie. Kapronsäure wirkt noch schädlicher, weniger schädlich Propionsäure.

***)) Schumacher: K. K. Akad. d. Wissensch., Wien 1874, Juni 11. Ähnliche Versuche hatte übrigens schon Cagniard de Latour gemacht.

†) Bert: Compt. rend., T. 80, p. 1579.

eine rasche Änderung des Wassergehaltes zu vermeiden ist. Es ist mit den bestehenden experimentellen Angaben recht wohl verträglich, dass unter den günstigen Umständen bis nahe an den Kochpunkt des Wassers und selbst etwas darüber die zuvor getrockneten Hefezellen ungefährdet bleiben. Die Sporen unseres Pilzes sind vielleicht noch etwas unempfindlicher; wenigstens ist dies aus anderweitigen Erfahrungen zu schliessen.

Für den in einer Flüssigkeit befindlichen Bierhefepilz besitze ich aus eigenen Versuchen Anhaltspunkte über dessen Tötungstemperatur*). Etwa 53°C . erschienen mir in wiederholten Fällen als die obere Temperaturgrenze unter den bezeichneten Umständen, nachdem schon bei einigen Graden darunter die Gärungsthätigkeit zum Stillstand kommt, und auch andere Experimentatoren haben überwiegend die annähernd gleiche Temperatur gefunden**). Doch ist auch hier eine gewisse Variabilität bei verschiedenem Alkoholgehalt und verschieden langem Erhalten auf dem Wärmegrad den *Saccharomyces*spezies im voraus einzuräumen.

Die Kenntnis dieser Grenztemperaturen des Bestehens der Hefepilze und ähnlicher niederen Organismen ist natürlich von erheblicher praktischer Bedeutung, weil auf ihr die Methode des *Sterilisierens* beruht.

Ein häufig unvollkommenes Sterilisieren bei mässigen Temperaturen ($+60^{\circ}$) wird auch wohl *Pasteurisieren* genannt, da dasselbe durch den berühmten Gärungschemiker zunächst für das Konservieren von Weinen vorgeschlagen wurde. Jetzt spielt dasselbe auch in dem Molkereigewerbe eine bedeutende Rolle und wird deutlich von dem wirklich endgültigen Sterilisieren, das gewöhnlich bei höherer Temperatur oder zur Besiegung des widerstandsfähigen Sporenzustandes durch (nach einem gewissen Zwischenraume) wiederholtes Erhitzen erreicht wird, unterschieden.

Die günstigsten Vegetationstemperaturen, d. h. also auch wohl Vergärungstemperaturen, sind natürlich noch mehr abhängig von der Art oder Unterart, um deren Kultur es sich handelt. Doch mag das Optimum im allgemeinen, wie für viele andere vegetative Prozesse, um 30°C . liegen. Jodlbauer fand bei seinen Versuchen mit Presshefe, also einer obergärigen Hefeform, als Optimum für den Gärungsprozess $33\text{—}34^{\circ}\text{C}$.***). Eine langsame Gärung und Hefevegetation erscheint noch bei sehr niedrigen Temperaturen möglich, und ich habe selbst noch Gärung in einem Raume, der sich dauernd unter 0° befand, wahrgenommen. Wahrscheinlich gilt dies indessen nur für Unterhefevarietäten, deren Optimum auch erheblich niedriger als das der meisten (nicht aller) Oberhefevarietäten zu liegen scheint. Das Optimum des Wachstums ist für eine untergärige Varietät der Bierhefe durch Peder-

*) Für viele Bakterien liegt nach Cohn die Tötungstemperatur unter 60° (Beiträge zur Biologie d. Pfl., H. II, p. 213), für Schimmelsporen höher. Auch Pasteur hat über die Widerstandsfähigkeit anderer niederen Organismen einige Angaben gemacht. Neuere Untersuchungen weisen recht erhebliche Unterschiede in Bezug auf verschiedene Bakterienarten und namentlich auch erhebliche Unempfindlichkeit im Sporenzustande auf.

**) So ziemlich übereinstimmend Liebig und Pasteur, während H. Hoffmann eine beträchtlich höhere Tötungstemperatur angiebt. Vgl. Landw. Jahresber., Göttingen 1866/67, p. 101; desgl. Melsens: Compt. rend., 1873, I, p. 529, auch Wiemer: Mikroskop. Untersuch., Stuttgart 1872.

***) Zeitschr. d. Ver. f. d. Zuckerrübenindustrie, 1888, p. 308.

sen auf etwa 29°, das Maximum schon auf 38° festgesetzt worden. Das Minimum liegt nicht weit von 0°, also Gesetzmässigkeiten ganz ähnlich denen des Wachstums bei höheren Pflanzen. Das Optimum liegt wie dort näher beim Maximum als beim Minimum und auch die absoluten Temperaturen der drei charakteristischen Punkte mit dort Wahrgenommenem sehr übereinstimmend. Exaktere Zahlen stehen uns jetzt für reingezüchtete Hefepilzspezies aus den sorgfältigen Untersuchungen von Hansen und seiner Schüler zur Verfügung und zwar erstrecken sich diese Angaben auf die Grenztemperaturen und verschiedene vegetative Zustände der untersuchten Saccharomyceten*).

Die Kenntnis des sehr niedrig liegenden Minimums für die Vegetation mancher Bierhefepilze hat darum eine grosse praktische Bedeutung, weil auf dieser Thatsache die Gärung des bayrischen Bieres in durch Eis stark abgekühlten Räumen beruht, wodurch die Konkurrenz anderer niederen Organismen ausgeschlossen wird**).

In manchen Fällen hat man auch Absterben von Mikroorganismen unter dem Einfluss von Induktionselektricität wahrgenommen.

Hoher Druck tötet die Hefe nicht, verzögert aber die Gärung.

Wir sind durch unsere Betrachtungen von heute etwa zu folgenden neuen Schlüssen gelangt:

- 1) Aus demselben Grunde, aus welchem der Hefepilz während der Gärung dauernd ein Stickstoffbedürfnis geltend macht, zeigt er auch einen kontinuierlichen Bedarf nach einer Reihe von Aschenbestandteilen.
- 2) Das Aschenbedürfnis des Hefepilzes ist qualitativ und quantitativ ein abweichendes von dem der höheren Gewächse.
- 3) Von mineralischen Bestandteilen des Hefepilzes ist die Unentbehrlichkeit für Phosphor, Kalium und Magnesium, neuerdings auch für das Eisen, nachgewiesen; für Schwefel ist der Beweis aus anderen sehr allgemeinen Erfahrungen zu folgern, aber empirisch noch nicht erbracht. Für Calcium ist die Entbehrlichkeit neuerdings gewiss, für Kieselsäure, Natron und Chlor im hohen Grade wahrscheinlich.
- 4) Phosphor, Kalium und Magnesium werden vom Hefepilze in hoher Oxydationsstufe als phosphorsaure Salze, Kali- und Magnesiasalze, aufgenommen. Für den Schwefel besteht jedenfalls eine Abweichung den höheren Gewächsen gegenüber, insofern schwefelsaure Salze dem Hefepilze ohne Schaden vorenthalten werden können.
- 5) Phosphor und Kalium sind unter den Aschenbestandteilen quantitativ in sehr überwiegender Menge zum Aufbau des Hefepilzes erforderlich, so dass ein Bedürfnis an diesen Stoffen während starker Hefevermehrung sich ganz besonders geltend macht, und dadurch eine Beziehung zwischen Zufuhr an phosphorsaurem Kali und Gärungsintensität an den Tag tritt.
- 6) Der Hefepilz ist gegen rasche Wasserzufuhr oder -Entzug, mögen diese nun bewirkt werden durch Konzentrationsänderung in den ihn umgebenden Flüssig-

*) Vgl. Meddelelser fra Carlsberg Laboriet, II und III.

**) Erst in neuerer Zeit und unter dem Einfluss der von Hansen eingeführten Methode der Reinzucht ist die Anwendung von Temperaturen wie 2 und 3° C., die früher üblich war, wieder eingeschränkt worden.

keiten oder durch Trocknung bei höherer, aber sonst zulässiger Temperatur, sehr empfindlich und kann durch einen solchen Wechsel getötet werden.

- 7) Der Hefepilz ist sehr widerstandsfähig gegen hohe Konzentrationen seiner mineralischen Nährstofflösung und gegen die Beimengung fremdartiger chemischen Stoffe zu den Gärungsgemischen, und kann erst durch verhältnismässig grosse Dosen von den gewöhnlichen Giften getötet werden.
- 8) Die günstigste Gärtemperatur scheint bei ungefähr 33° C. zu liegen.
- 9) Die obere Grenztemperatur, welche in gewöhnlicher Gärflüssigkeit suspendierte sprossende Hefezellen noch eben ertragen können, ohne abzusterben, scheint nahe bei 53° C. zu liegen. Auf dieser und auf analogen Thatsachen beruht die Methode des Sterilisierens gärungsfähiger Flüssigkeiten. Trockene Bierhefe und jedenfalls namentlich die Sporen des Pilzes sind noch bei viel höheren Temperaturen widerstandsfähig.

Zehnte Vorlesung.

Der Sauerstoffbedarf der Hefepilze. — Allgemeine Schlussfolgerungen.

Nachdem wir uns in den vorigen Vorlesungen über die Ernährung der Hefepilze orientiert haben, bleibt uns noch übrig, denjenigen Teil des Stoffwechsels zu besprechen, aus welchem der Ursprung der Energie, welche für die Lebensrichtungen eines jeden Organismus von derselben Bedeutung ist als die blosse Anwesenheit der Nährstoffe, herzuleiten ist. Die Form, in welcher die meisten Organismen diesem Postulate genügen, ist, wie bekannt, die Unterhaltung von Verbrennungserscheinungen mit Hilfe des freien Sauerstoffs.

Dass alle lebenden Wesen des freien Sauerstoffs zu ihrer Existenz bedürfen, dass sie, wie wir uns gewöhnlich ausdrücken, *atmen*, dies scheint, namentlich seit wir diesen Bedarf auch für die höheren grünen Pflanzen, welche sonst überwiegend den entgegengesetzten Gasaustausch unterhalten, kennen gelernt haben, ein so allgemein gültiges Gesetz zu sein, dass wir dessen Geltung auch für die Hefepilze voraussetzen geneigt sind.

Trotzdem atmen die Hefepilze nicht gleich den höheren Organismen. Im Gegensatz zu diesen ist ihre Sauerstoffaufnahme eine fakultative, ihr Bedarf an der Vollziehung von Verbrennungserscheinungen kein absoluter.

Kurz nach der Entdeckung der Gärungsorganismen war über diesen wichtigen Punkt nur soviel bekannt, dass der Hefepilz in gewissen Stadien seines Lebens, wie zur Auskeimung seiner Sporen, sauerstoffbedürftig sei*). Dann hatte ein Versuch

*) Diese Behauptung stützt sich nicht auf die Beobachtung des Erfolges einer Lüftung bei Flüssigkeiten, welche zu gären beginnen, sondern auf wirkliche Feststellung der Auskeimungsbedingungen von Hefesporen. Vgl. Reess: Botan. Unters. über Alkoholgärungspilze etc., p. 15. Auch van Tieghem hat schon frühe beobachtet, dass Schimmelpilze in Gerbsäurelösung bei Luftabschluss nicht auskeimen, während das fertige Mycel unter diesen Umständen weiter vegetiert (Compt. rend., T. 65, p. 1091).

von Pasteur, freilich nicht ohne Widerspruch anderer Untersucher, ein verschiedenes Verhalten des Hefepilzes bei Zufuhr und bei Abschluss von Sauerstoff ans Licht gestellt. Das Resultat desselben war, dass der Hefepilz bei grosser Sauerstoffzufuhr, also an der Oberfläche einer Flüssigkeit, die mit einem grossen Luftvolum in Berührung stand, eine sehr lebhafte Vegetation zeigte, ohne wenigstens im Verhältnisse zur stattgehabten Hefevermehrung starke Gärung zu erregen, dass dagegen, wenn die Luftzufuhr eingeschränkt war, umgekehrt geringe Hefevermehrung, aber eine relativ mächtige Gärung eintrat. Dies Verhalten veranlasste die Deutung, als ob im letzteren Falle der Bedarf des Hefepilzes an Sauerstoff auf nicht normale Weise befriedigt werden könne und eben dadurch die Zuckerzersetzung erfolge, während zugleich unter diesen Umständen das Gedeihen des Pilzes ein weniger gutes sei. So paradox eine solche Anschauung, wonach die ganze Gärungserregung auf einer unterdrückten Atmung des sie veranlassenden Organismus basiert erscheint, auch klingen mochte, so hatte sie doch Methode, und faktisch ist dieselbe durch die spätere exaktere Forschung in einem gewissen Sinne schliesslich bestätigt, wenn auch einer starken Übertreibung entkleidet worden.

Versuche sodann, welche die Pasteur'schen Angaben prüfen sollten, wurden von verschiedener Seite unternommen*).

*) Vgl. in Bezug auf die ältere Litteratur: Adolf Mayer: Landw. Versuchsst., B. 16, p. 290. Hiernach die Wirkung des O jedenfalls schwach. Dass Ozon nicht auf die Gärung wirkt, hat van den Broek (Annal. d. Chem. u. Pharm., B. 115, p. 78) nachgewiesen. Mit den eben citierten Versuchsergebnissen standen auch die späteren Resultate Neubauer's (Annalen der Önologie, B. 4, p. 68) keineswegs im Widerspruch, wonach der Hefeabsatz aus gärenden Mosten durch Lüftung erheblich zunimmt; denn dasselbe Resultat wurde erreicht durch Lüftung mit Wasserstoff, Kohlensäure und Leuchtgas wie durch Sauerstoff und gewöhnliche Luft. In Bezug auf die Resultate der Weinflüftung vgl. Chaptal: Annal. d. Chim. (1), T. 36, p. 8; aber namentlich Annal. d. Önologie, I, p. 21, 215, 408. Es ist dabei zu berücksichtigen, was meistens ganz ausser acht gelassen wird, dass der natürliche Traubensaft ein Gemenge von sehr verschiedenartigen Substanzen, deren Natur wir nicht einmal alle kennen, darstellt, und dass darum die Hypothese, die man oft stillschweigend macht, der Einfluss der Lüftung müsse in einer direkten Beziehung zur Gärung selber stehen, keine gerechtfertigte ist. Auch hat nach Neubauer Lüftung mit andern Gasen ähnliche Erfolge gehabt, und es scheint die Entfernung der Kohlensäure auch eine gewisse Rolle zu spielen, indem diese bis zu einem gewissen Grade nach dem Beispiele vieler anderen Exkremente die Hefevegetation schädigt. Endlich kann die bloss Bewegung schon Erfolge haben. E. C. Hansen hat nämlich bewiesen (Meddelelser fra Carlsberg Laboratoriet, I, p. 271), dass eine stetige Bewegung der gärenden Flüssigkeit günstig sein kann für die Vermehrung der Hefe im Gegensatze zu der Behauptung Horvath's (Pflüger's Arch. f. d. ges. Physiol., B. 17, p. 125), der darin wenigstens für die Bakterien ein die Entwicklung hemmendes Moment aufstellen wollte. Dass, wenn man die vermutlich schädliche Wirkung heftigen Schüttelns zugiebt, experimentelle Belege in der einen wie in der anderen Richtung beizubringen sein werden, ist a priori deutlich, da ja eine mässige Bewegung die für eine regelmässige Ernährung nötigen osmotischen Ströme unterstützen kann. An dieser Stelle ist die Sache nur von Bedeutung, da Lüftungsversuche mit Bewegung nicht immer beweiskräftig sind, wenn der vergleichende Versuch in der Ruhe geschah. — Weiter sind für diesen Zweck die Schützenberger'schen Beobachtungen von Interesse, durch welche mit Hilfe einer sehr einfachen, aber keineswegs sehr genauen Methode der Sauerstofftitrierung gezeigt worden war, dass Hefezellen allerdings erst über 8° C. in Wasser gelösten Sauerstoff

Zunächst wurde nur festgestellt, dass allerdings wohl Einfluss des Sauerstoffs im gärungsfeindlichen Sinne zu konstatieren war, aber keineswegs in einem Grade, wie die Pasteur'schen Mitteilungen hatten vermuten lassen.

Eine mächtige Anregung zur Erforschung dieses interessanten Gegenstandes hat dann Brefeld gegeben, obwohl die positiven Aufstellungen dieses Forschers im Verlaufe des sich daran anknüpfenden Kampfes sehr wesentliche Einschränkungen haben erleiden müssen.

Brefeld, der in mehrfacher Beziehung sich um die Gärungsfrage bemüht hat, trat im Jahre 1874 mit dem Satze hervor: Atmung in dem Sinne von Aufnahme von freiem Sauerstoff sei schlechterdings für alle lebenden Wesen notwendig, und machte sich anheischig, dieses Gesetz speziell experimentell am Bierhefepilz zu erweisen. Er hatte die Beobachtung gemacht, dass Hefezellen in möglichst von Sauerstoff befreiten Gasen noch ganz kurze Zeit wachsen, um dann mit den Wachstumserscheinungen stille zu stehen und gewisse charakteristische Veränderungen zu erleiden, welche mit dem Tode der so behandelten Zellen endigen. Hieraus schloss Brefeld, dass die Zellen gerade noch so lange sprossen, als der Sauerstoffvorrat, welcher auch in sogenannten sauerstofffreien Gasen (wegen der Unvollkommenheit der chemischen Sauerstoffabsorptionen) mit einem gewissen Rechte vorausgesetzt werden darf*), ausreicht, und dass mit dem Mangel an Sauerstoff die pathologische Veränderung ihren Anfang nimmt. Hierin lag aber offenbar eine *petitio principii* und die Achillesferse seines ganzen Systems, an welche auch zugleich die Gegner rührten und von welcher aus sie schliesslich dies letztere zu Falle brachten.

Ferner glaubte Brefeld nachgewiesen zu haben, dass Hefepilze in zuckerhaltigen Flüssigkeiten eine Zeit lang wachsen könnten ohne alle nebenhergehende Alkoholerzeugung, blieb aber auch wieder sogar den Nachweis schuldig, dass hierbei die beginnende Alkoholerzeugung mit dem Verschwinden des Sauerstoffs aus der Ernährungsflüssigkeit zusammenfalle. Dieser Nachweis war aber notwendig, wenn

mit Macht an sich reissen und für Oxydationserscheinungen verwenden, aber wobei von einer Notwendigkeit dieser Erscheinung mit nichten der Beweis erbracht war. Diese Methode ist übrigens interessant genug, um hier mitgeteilt zu werden. Wenn man eine Lösung von schwefelsaurem Natron mit Zinkpulver und etwas Essigsäure schüttelt, so bekommt man eine Säure, die sogenannte hydroschwefelige Säure von der Formel H_2SO_2 , welche mit äusserster Energie Sauerstoff an sich reisst und daher bei dem in Rede stehenden Titrierverfahren als Titrierflüssigkeit benutzt wird. Als Indikator dient etwas indigschwefelsaures Salz, welches bei einem kleinen Überschusse des reduzierenden Agens sofort durch dieses entfärbt wird, also den Verbrauch von allem freien Sauerstoff durch seine Entfärbung anzeigt. Die empfindliche Titrierflüssigkeit muss durch eine Benzolschicht von der Berührung der Atmosphäre abgeschlossen werden, und die ganze Titrierung in einer Woulf'schen Flasche in einer Wasserstoffatmosphäre vorgenommen werden. Vgl. Schützenberger: *Compt. rend.*, T. 75, p. 879; dessen Gärungserscheinungen, p. 97, u. R. Fiechter: Über den Einfluss der Blausäure auf Fermentvorgänge, Basel 1875, p. 32. — Auf diese Weise wurde unter anderem gefunden, dass der Sauerstoffverbrauch der Hefe mit steigender Temperatur stark anwächst, bei 35° sein Maximum erreicht und jenseits 50° vernichtet wird. Auch den Sauerstoff des Oxyhämoglobins vermag nach den Schützenberger'schen Versuchen die Hefe für sich in Anspruch zu nehmen.

*) Vgl. hierüber auch Gunning; *Maandblad voor Naturwetenschappen*, J. 7, Nr. 6, p. 88.

die Thatsache zur Ableitung der Sätze dienen sollte, dass der Hefepilz wie alle andern Organismen normal Sauerstoff atme, dass er vor allem dies thun müsse, wenn er durch Wachstum sich vergrössern wolle, und dass andererseits Gärung die Reaktion sei, die sich einstelle, wenn der Sauerstoff vorenthalten werde, und dass dieser pathologische Prozess niemals mit Hefewachstum zu vereinigen sei. In derselben Flüssigkeit konnte nämlich nach Brefeld nur lokal getrennt (Oberfläche und Bodensatz), also in Wahrheit doch nicht gleichzeitig Hefewachstum und Gärung stattfinden.

Es ist begreiflich, dass diese Aufstellungen eine grosse Aufregung unter allen Interessenten der Gärungschemie veranlassten. Zwar kann bei näherer Betrachtung nicht übersehen werden, dass schon in Pasteur's Anschauungen über die Bedeutung des Sauerstoffs für Hefe und Gärung die Grundzüge für eine solche Reciprocität enthalten sind; nur erscheinen dieselben weiter entwickelt und in radikalster Weise auf die Spitze gestellt. Befremdlich und nur aus zufälligen Ursachen zu erklären ist es allein, dass Brefeld gerade gegen Pasteur als einen Verderber der Gärungschemie sich wendete und seine Resultate in mehr als künstlicher Weise zu Gunsten der Liebig'schen Gärungshypothese gedeutet wissen wollte, indem nun doch bewiesen sei, dass die Gärung nichts mit dem Leben, sondern vielmehr mit dem Tode etwas zu schaffen habe — als wenn pathologische Erscheinungen lebender Wesen nicht auch Lebenserscheinungen wären.

Es ist ferner begreiflich, dass andere Forscher bald die schwachen Seiten der Brefeld'schen Beweisführung aufzuspüren und Brefeld schliesslich selber zum Widerruf der tiefgreifendsten seiner Behauptungen zu veranlassen wussten. Traube und Pasteur wiesen besonders schlagend nach, dass die Hefepilze wenigstens unter Umständen (noch kräftige Hefe) bei völligem Fehlen des Sauerstoffs in normaler Weise sprossen können, während sie gleichzeitig kräftige Gärung erregen. Für durch Bakterien eingeleitete Fäulnisprozesse wurde dasselbe sehr überzeugend u. a. durch Hüfner*) nachgewiesen. Ich selber habe mich um den Nachweis bemüht, dass auch bei Sauerstoffüberschuss in einer Flüssigkeit neben Hefewachstum Gärung stattfinden könne. Die beiden von Brefeld beobachteten Fälle erweisen sich somit vielleicht höchstens als praktisch wenig ausgedehnte Endstadien der Lebenserscheinungen unseres Pilzes. Der Pilz kann Gärung erregen, ohne zu wachsen, wenn ältere Individuen vom Sauerstoff abgeschlossen werden; er kann vielleicht auch kurze Zeit wachsen, ohne Gärung zu veranlassen, wenn junge Individuen ein Übermaass von Lebensluft vorfinden. Aber zwischen diese Endfälle ist ein sehr ausgedehntes Zwischenstadium einzuschalten, in welchem der Hefepilz gleichzeitig mehr oder weniger kräftig wächst und gleichzeitig mehr oder weniger kräftige Gärung veranlasst. Dies ist der Zustand, auf welchen sich das Studium vordem zumeist erstreckte und der praktischen Wichtigkeit wegen auch zu erstrecken verdiente.

Immerhin bleibt nach Beseitigung der Brefeld'schen Übertreibungen ein reeller Kern als Resultat seiner Versuche übrig — ein Ergebnis, welches allerdings mit den schon früher von Pasteur behaupteten beinahe völlig zusammenfällt. Es be-

*) Journ. f. prakt. Chemie, 1876, p. 475.

steht wirklich unter allerseits günstigen Ernährungsverhältnissen eine gewisse Reciprocität zwischen Hefeatmung und Gärung der Art, dass bei Unterdrückung der ersteren die letztere mehr in den Vordergrund tritt, woran auch der Schützenberger'sche Nachweis*), dass gerade kräftig gärende Hefe und solche, die viel Zucker und andere Nährstoffe in ihrer Umgebung findet, zu besonders kräftiger Atmung befähigt ist, nichts zu ändern vermag.

Als gute Beispiele für den Einfluss der Atmung auf die Beschränkung der Gärung in dem Sinne, dass ein Gewichtsteil Hefe unter diesen Verhältnissen weniger Zucker zersetzt, und gleichzeitig auf die Vermehrung der Hefeneubildung, können auch besonders die Resultate der später von Pedersen angestellten Lüftungsversuche dienen**). Aus denselben geht wieder schlagend hervor, dass Luftzufuhr auf Unterhefe in Bierwürze so wirkt, dass mehr Hefe abgesetzt wird und infolge der mehrgebildeten Hefe die Vergärung der Flüssigkeit eine absolut vollständigere wird, während bei Abhaltung der Luft ein Gewichtsteil Hefe hinsichtlich seiner Gärungsleistung am vollständigsten ausgenutzt wird.

Diese Versuche sind namentlich den meisten anderen darum überlegen, weil Vergärung und Hefemenge Tag für Tag festgestellt wurden, und man so aller Schätzung von Mittelwerten aus geometrischen Reihen überhoben ist. Die Versuche wurden immer doppelt ausgeführt, einmal mit Luftzufuhr.

Dabei wurden die folgenden Resultate erhalten:

	Extrakt vergoren pro Liter		Hefe gebildet pro Liter	
	nach Tagen	gelüftet gr	gelüftet gr	nicht gelüftet. gr
	2	2,8	2,6	0,55
	3	7,0	5,4	0,74 ***)
	5	27,8	23,4	2,10
	6	34,4	31,8	2,29
	7	42,2	40,2	2,42
	8	54,2	41,2	1,79
	10	60,0	52,5	2,14
	12	69,0	60,8	2,46.

Rechnet man diese Resultate so um, dass man bestimmt, wieviel Extrakt durch die Einheit von Hefe (wobei die ursprünglich anwesende Menge von Hefe 0,84 gr pro Liter beigerechnet und vom Extrakt die Menge, die zu Hefe geworden ist, abgerechnet werden muss) in der Dauer von 24 Stunden vergoren worden ist, so erhält man die folgende kleine Tabelle.

*) Siehe Anm. auf p. 153.

**) Meddelelser fra Carlsberg Laboratoriet, 1878, forste Hefte, p. 39.

***)) Diese Zahl ist im französischen Texte mit einem sinnstörenden Druckfehler behaftet, der hier korrigiert ist.

Gärkraft*)		
		bei Anwesenheit bei Abwesenheit
		von Sauerstoff
nach 2 Tagen	0,8	0,6
„ 3 „	0,6	0,9
„ 5 „	1,2	1,4
„ 6 „	1,3	1,6
„ 7 „	1,4	1,7
„ 8 „	1,3	1,9
„ 10 „	1,2	1,7
„ 12 „	0,9	1,5.

Im Mittel ist hiernach die spezifische Leistungsfähigkeit der nicht gelüfteten Hefe 40% grösser, mit einer einzigen undeutlichen Abweichung**) im entgegengesetzten Sinne zu Beginn des Versuchs***).

Auch hierdurch wird wieder das Verhältnis bestätigt, was früher bei unvollständigem Verständnis zu vielen Widersprüchen Veranlassung gegeben hat, dass Luft direkt auf die Gärung beeinträchtigend wirkt, indirekt aber unter gewissen Verhältnissen (wenn nämlich dadurch erst die nötige Menge von wirksamer Hefe gebildet werden muss) sehr günstig wirken kann, daher das Resultat absolut und relativ betrachtet ein verschiedenes ist.

So abgeschlossen die Frage nach der Veröffentlichung solcher schlagenden Versuche erschien, so schien dieselbe nochmals wie so viele anderen Fragen auf diesem Gebiete eine ganz neue Wendung erhalten zu sollen durch das Werk des berühmten Pflanzenphysiologen C. v. Nägeli†) über diesen Gegenstand, welches im Jahre 1879 erschien. Doch sind die Beiträge, die durch den genannten geliefert wurden, mehr spekulativer wie experimenteller Art, und so beachtungswert sie in der ersteren Richtung sowohl durch den Namen des Autors als ihrem wirklichen Inhalte nach

*) Unter Gärkraft ist hier natürlich zu verstehen die Menge des in der Zeiteinheit durch die Einheit Hefe vergorenen Zuckers.

**) Diese einzige Ausnahme ist aber erstens sehr geringfügig und dann kommt sie zu stande durch eine abnorm grosse Hefevermehrung in der nicht gelüfteten Würze. Wer auf dieselbe fassen wollte, müsste gleichzeitig annehmen, dass sich die Hefe in nicht gelüfteter Würze stärker vermehre als in gelüfteter, was aller Erfahrung widerspricht. Auch belehrt uns gleich die nächste Versuchsreihe von Pedersen darüber, dass wir es mit einer Anomalie zu thun haben, die sich nicht wiederholt. Diese einzige Ausnahme wird also voraussichtlich durch einen Versuchsfehler zu erklären sein, zusammen mit dem Umstande, dass in der nicht gelüfteten Würze am ersten Tage der Sauerstoffgehalt noch für eine erhebliche Hefeatmung genügend sein konnte.

***)) Beiläufig ist aus dem mitgeteilten Pedersen'schen Versuche auch zu ersehen, dass neugebildete Hefe eine stärkere Gärkraft hat als alte; denn beim Versuche mit Lüftung ist die grösste Gärintensität erreicht am 6. Tage, als die Hefe sich nahezu verfünffacht hat und die alte Hefe gegenüber der neuerzeugten beinahe verschwindet. Ohne Lüftung wird das Maximum bei geringerer Vermehrung und erst am 8. Tage erreicht. Das Hauptresultat ist aber, dass im letzteren Falle die relative Gärungsintensität überhaupt eine grössere ist, sowohl was den Durchschnitt, als was das Maximum betrifft.

†) Die Gärung, München bei Oldenbourg.

erscheinen mussten, so ungenügend erwiesen sie sich bald in der letzteren. Wir hatten ja bereits im Verlaufe unserer Darstellung mehrfach Gelegenheit zu erkennen, wie selbst grosse Geister in unserer Wissenschaft nicht ungestraft den festen Boden Erfahrung zu verlassen wagen dürfen.

v. Nägeli wendete sich, was den jetzt zur Diskussion gestellten Punkt angeht, zunächst gegen Pasteur, der, wie wir gesehen, auf Grund von allerdings unpräzise wiedergegebenen Versuchen eine sehr starke gärungsfeindliche Wirkung des Sauerstoffs behauptet hatte, kritisierte diese Versuche und suchte aus den Mitteilungen — gerade das Umgekehrte, Begünstigung der Gärung durch den Sauerstoff, herzuleiten, ein Bestreben, welches jedoch bei der Unzulänglichkeit dieser Mitteilungen ein vergebliches bleiben musste, d. h. wenn man nicht wie Nägeli ganz willkürliche Voraussetzungen macht*).

Auf diese Weise und ausserdem auf sehr unzulängliche neue Versuche sich stützend, kam Nägeli zu dem Satze, dass Anwesenheit von Sauerstoff die Gärung direkt begünstige, ein Verhalten, das, wenn es sich als wahr erwiesen hätte, natürlich den allergrössten Einfluss auf die Theorie der Gärungen gehabt haben würde, da in diesem Falle die letzteren nicht als Stellvertreter der Atmungserscheinungen hätten aufgefasst werden können.

Man erkennt schon aus den bislang gemachten Angaben, dass die Meinungen über den Einfluss des Sauerstoffs seitens der Gärungstheoretiker in den letzten Jahrzehnten die denkbar verschiedensten gewesen sind. Es ist darum interessant, das schon Besprochene noch einmal zu rekapitulieren. Auf der äussersten Grenze, als Nägeli's Antipode, steht Brefeld, welcher seiner Zeit, wie wir gesehen, die grösstmögliche Schädlichkeit des Sauerstoffs für den Gärungsakt, nämlich die Unmöglichkeit der Gärung bei Anwesenheit von freiem Sauerstoff behauptete und diese Meinung meines Wissens nicht zurückgenommen hat. Brefeld begründete seine Meinung zunächst auf ein dogmatisches Prinzip (wo Gärung kein Sauerstoff, wo Sauerstoff keine Gärung), das auch anderweitig und damals eingestandenermaassen sich als unhaltbar gezeigt hat, zweitens auf einen Versuch, der nicht wiederholt worden ist und dessen Resultat also nicht bestritten werden kann, der aber logisch zu der gemachten Folgerung nicht berechtigt. Das Versuchsergebnis ist nämlich beginnende Hefevermehrung in süssem Most ohne Alkoholerzeugung.

Die Unrichtigkeit des Brefeld'schen Satzes ist experimentell erwiesen, wenn wir hierbei die chronologische Ordnung festhalten:

- 1) Durch die Versuche des Verfassers: Gärung ist möglich im Nöbel'schen Schlammtrichter bei fortwährendem Durchleiten von Luft. 1875**).
- 2) Durch die Versuche des Verfassers: Gärung findet statt durch Hefe auf Papierstreifen im luftgefüllten Endiometer. 1874***). Hier ist indessen möglich der Einwurf, dass der Sauerstoff nicht zu allen Hefezellen Zutritt gehabt habe.

*) Siehe die Kritik des Verfassers dieser Vorlesungen in Landwirtsch. Versuchszt., 25, p. 301. Übrigens ist selbst in verdienstlichen Werken z. B. v. Lippmann (Chemie der Zuckerarten, 1895, p. 213) die Nägeli'sche Auffassung festgehalten.

**) Beiträge zur Lehre über den Sauerstoffbedarf etc. der Hefepilze, Heidelberg 1875, und Landw. Jahrbücher, p. 939.

***) Berichte d. deutsch. chem. Gesellsch., 1874, p. 579.

- 3) Durch C. von Nägeli: Bildung von Essigäther durch Hefezellen. 1879*).
- 4) Durch E. C. Hansen: Versuchsführung ganz analog 1), nur mit komplizierterem Apparate**). 1879.

Zunächst Brefeld steht dann ungefähr Pasteur, der einen sehr schädlichen Einfluss der Lüftung auf die Gärung annimmt, aber, wie Nägeli gezeigt hat, nicht zu dieser Folgerung berechtigt war***). Alle anderen Forscher stehen näher zu Nägeli und behaupten auf Grund z. T. sehr ausgedehnter Versuche die mässig schädliche Wirkung des Sauerstoffs. Am nächsten wohl der Verfasser selber, der in seinen Versuchen teilweise keinen oder nur einen sehr geringen Einfluss, aber im umgekehrten Sinne wie Nägeli konstatieren könnte.

Von anderen Experimentatoren, die einen gärungsfeindlichen Einfluss des Sauerstoffs nachgewiesen haben, ist hier nochmals zu nennen Pedersen.

Die Nägeli'schen Aufstellungen haben dann aber später wieder neue Versuche hervorgelockt.

Am exaktesten ist wohl die Frage der direkten Sauerstoffatmung des Hefepilzes in seinen Beziehungen zu Wachstum und Gärung von Giltay und Abersson†) behandelt worden, welche in einer grossen Reihe von Versuchen mit Presshefe und Zuckerlösung mit oder ohne weiteren Nährstoffen den Einfluss einer gut geregelten Lüftung auf die Erzeugung von Alkohol, Kohlensäure und neugebildeter Hefetrockensubstanz sorgfältig feststellten. Das Resultat dieser sehr umsichtig angestellten Versuche ist gewesen, dass bei starker Lüftung (und zwar abhängig vom Sauerstoffgehalt der durchgeleiteten Luft) nur etwa $\frac{3}{4}$ des verschwundenen Zuckers nach den Verhältnissen der alkoholischen Gärung sich gespalten hatte, während bei Ausschluss von Luft gewöhnlich in die 90 % auf diese Weise sich zersetzten, — ein recht handgreiflicher Unterschied also, der auch, obwohl etwas abgeschwächt, noch bestehen bleibt, wenn man die absoluten Alkoholmengen, die in beiden Fällen erzeugt werden, miteinander vergleicht. Der Gesamtzuckerumsatz an sich wird nämlich durch die Lüftung etwas begünstigt, woran z. T. die stärkere Hefevermehrung, also die grössere Menge der durchschnittlich thätigen Hefe, schuld sein mag, was aber andererseits die Folge ist einer direkten Zuckeroxydation im Sinne der gewöhnlichen Atmung unter diesen Umständen.

Durch Besprechung dieser letzteren Kombination ist zugleich ausgesprochen, dass auch das Resultat dieser ganz neuen Versuche in Bezug auf den Einfluss des Sauerstoffs auf Hefewachstum ein positives††) gewesen ist. Jedenfalls ist auch durch diese

*) Siehe „die Gärung“, p. 21.

**) Meddelelser fra Carlsberg Laboratoriet, II. Hefte.

***) Pasteur hat offenbar die Hefeproduktion im Falle der Lüftung zu hoch eingeschlagen und darum einen zu geringen Eindruck von der Gärkraft gelüfteter Hefe empfangen. Oder seine Hefevegetation war nicht rein und mit Mycodermen untermischt. Nur so ist sein Resultat in Übereinstimmung zu bringen mit dem anderer Experimentatoren.

†) Pringsheim. Jahrbücher für wissenschaftl. Botanik, 26, p. 543.

††) Übrigens ist dieser Einfluss auch in diesen sorgfältigen Versuchen ein wenig konstanter und wird es so begreiflich, warum frühere Experimentatoren, welche sich häufig mit einzelnen Versuchen begnügten, zu unsicheren Resultaten kommen mussten. A. Brown scheint z. B.

Versuche die Behauptung von Nägeli, dass Lüftung die Gärung direkt begünstige, als definitiv widerlegt zu betrachten. Auf der anderen Seite können dieselben auch wieder dienen, um die Übertreibungen Brefeld's, der bei Sauerstoffanwesenheit die Gärung, bei Abwesenheit das Wachstum stille stehen liess, ins rechte Licht zu setzen und ebenso die ursprünglichen Mittheilungen Pasteur's, nach welchen die Hefe bei Luftabschluss die 20fache Gärthätigkeit äussern sollte, als bei Anwesenheit derselben auf ihr richtiges Maass zu reduzieren.

Betrachten wir die allgemeine physiologische Bedeutung des soeben erörterten Satzes. — Wenn Gärung hauptsächlich da in den Vordergrund tritt, wo die Atmung beeinträchtigt ist, so erscheint sie als eine Art von Ersatz für diese; und kann ein solcher Ersatz eintreten, so müssen beide als analoge physiologische Vorzüge in einem gewissen Sinne betrachtet werden können. Sehen wir zu, ob dies möglich ist.

Es gelingt etwas derart in der That, wenn wir jenen Satz der Allgemeinheit des Atmungsprozesses — was im Einklang mit allen auf diesem Gebiete mit Einschluss der am Hefepilz gemachten Beobachtungen geschehen kann — dahin erweitern, dass wir aussprechen, einem jeden Organismus müssten zur Leistung seiner inneren und äusseren Arbeiten chemische Spannkraften zur Verfügung stehen, und ein Verlust an solchen Spannkraften müsste in dem Maasse stattfinden, als er solche Arbeiten in Gestalt von sehr verschiedenartigen Lebenserscheinungen vollziehe, und wenn wir hinzufügen, dass diese chemischen Spannkraften sich nicht notwendig in der Verbrennung von organischer Substanz auf Kosten von freiem Sauerstoff geltend machen müssen, sondern dies zur Not auch thun können durch einen Spaltungsprozess von organischer Substanz unter Verlust an chemischer Spannkraft, oder, wie man sich, um die Analogie hervorzuheben, ausdrücken kann, durch „innere Verbrennung“, wenn gleich das erstere der gewöhnliche Fall ist. — Gesteht man diese theoretisch ja so unwesentliche Umformung des besprochenen Satzes zu, so tritt der Lebensprozess des Hefepilzes in der Zuckerlösung durchaus in die Reihe jener andern uns geläufigen Lebenserscheinungen der übrigen Organismen ein; und ein derartiges Verfahren wird noch ganz besonders befürwortet, wenn man berücksichtigt, wie wir sogleich auszuführen haben werden, dass auf diese Weise andere bis dahin fremdartig erscheinende Vorgänge bei der Ernährung des alkoholischen Hefepilzes leicht erklärlich werden.

Suchen wir die Konsequenzen der vorgeschlagenen Anschauung für unsere Vorstellungen vom Wesen der Wirkungsweise des Hefepilzes nach den verschiedenen Seiten hin zu verfolgen. Zunächst steht fest, dass, wie zur Zulässigkeit unserer Betrachtungsweise notwendig ist, der Zerfall von Zucker (im wesentlichen in Alkohol und Kohlensäure) einen Verlust an chemischen Spannkraften repräsentiert. Dies ist nun aber eine Thatsache, welche nicht bloss auf der Ermittlung der respektiven Verbrennungs- oder Lösungswärmen der gärungsfähigen und gegorenen Substanzen basiert, sondern die hauptsächlich durch die Wahrnehmung, dass während der Gärung Wärme nach aussen abgegeben wird, aber keine äussere Kraft, wie das Licht, bei diesem Vor-

auch in der neuesten Zeit zu einem Resultat gekommen zu sein, wonach der O die Gärung nicht beeinträchtigt. Vgl. Ber. d. chem. Gesellsch., 1895, R. 188.

gange mitwirkt, bestätigt wird. Als Beleg für diese Behauptung mag folgendes angeführt werden. Früher suchte Dubrunfaut die Wärmemenge, welche bei der alkoholischen Gärung frei wird, experimentell zu bestimmen, und gelangte auf diese Weise nach einigen etwas willkürlich angebrachten Korrekturen zu Temperaturerhöhungen einer 12% Zucker enthaltenden gärenden Flüssigkeit von 14° C.*). Diese Wärmemenge ist nach einer weiteren Berechnung gleich 0,134 von derjenigen, welche durch die Verbrennung des in der Kohlensäure gelieferten Kohlenstoffes erhalten werden könnte. Berthelot**) schätzte in einer theoretischen Kalkulation diese Wärmemenge auf $\frac{1}{15}$ derjenigen, die durch eine vollständige Verbrennung des vergärenden Zuckers resultieren würde, woraus bei der annähernden Gleichheit der Verbrennungswärme des Zuckers und des in ihm enthaltenen Kohlenstoffes eine etwas höhere Zahl sich berechnet***). Doch wurde bei dieser Berechnung nur die Verbrennungswärme des Zuckers und des Alkohols berücksichtigt, nicht die Lösungswärme des während der Gärung verschwindenden Zuckers und der Mischungswärme des gebildeten Alkohols, positive Grössen, die nur durch mechanische Arbeitsleistung beim Heben der entweichenden Kohlensäure vermindert werden.

Erst A. Fitz†) hat alle diese verschiedenen Faktoren in einer später angeestellten Berechnung zu berücksichtigen gesucht und hat berechnet, dass von einer Temperaturerhöhung von 21° C., welche auf eine Zuckerlösung von 18% bei der Vergärung kommt, 6° auf die Lösungsverhältnisse zu setzen sind.

Welche Zahlen aber nun als die endgültigen angesehen werden müssen, in jedem Falle ist die gezogene Parallele in ihrer Beziehung zum Gesetze von der Erhaltung der Energie durchaus unerschütterlich. Auch der Hefepilz verbraucht, während er, ohne freien Sauerstoff in Anspruch zu nehmen, seine Lebensvorgänge vollzieht, und in dem Maasse er dieselben steigert, chemische Spannkraften, genau wie dies die andern niederen und die höheren Pflanzen bei der Atmung thun.

Allerdings ist der Ersatz, von dem hier die Rede ist, physiologisch nicht ganz gleichwertig. Wenn auch bei guter Ernährung und für die gewöhnliche vegetative Sprossung die Gärungsfunktion dasselbe zu leisten vermag wie die Atmung freien Sauerstoffes, so ist dies doch nicht unter allen Umständen der Fall. Dies folgt daraus, dass Hefewachstum bei Abschluss von Sauerstoff selbst in sehr geeigneter Nährlösung unterbleibt, wenn die gewählte Hefeausaat keine sehr kräftige (schon alternd) ist (Pasteur), dass dasselbe ferner selbst bei kräftiger Aussaat unterbleibt, wenn der Stickstoff allein in Form von Ammoniaksalzen geliefert wird (Traube), von

*) Compt. rend., T. 42, p. 945.

**) Ebenda, T. 59, p. 904. Spätere Messungen sind noch von Dumas ausgeführt worden.

***) Verbrennungswärme des Kohlenstoffes (Holzkohle) = 8080 W. E.
 „ des Traubenzuckers (nach Frankland) . = 3277 „

1 gr Zucker enthält 0,4 gr Kohlenstoff, und diese würden nach der Verbrennung 3232 Wärme-einheiten liefern. Da jedoch nur ein Drittel des Kohlenstoffes des Zuckers als Kohlensäure wegeht, so berechnen sich nach Dubrunfaut $2693 \cdot 0,134 \cdot 0,4 = 144$ W. E.; nach Berthelot $\frac{3277}{15} = 218$ W. E. Vgl. auch über diesen Gegenstand v. Lippmann: Chemie der Zuckerarten, 1895, p. 737.

†) Annal. d. Önologie, B. II, p. 428.

welchen wir ja wissen, dass sie schlechtere Nahrungsmittel der Hefe sind. Diese Regel wird endlich auch durch sehr gewichtige Thatsachen aus der Praxis bestätigt, welche dahin gehen, dass nur bei reichlicher Luftzufuhr grössere Hefeproduktionen im Verhältnisse zum umgesetzten Zucker möglich sind*), ganz abgesehen davon, dass Sporenkeimung und Sporenbildung nur unter dem Einfluss des freien Sauerstoffs gelingen.

In dieser Beziehung herrscht, wie wir in einer späteren Vorlesung sehen werden, überhaupt bei den niedrigen Organismen die grösste Mannigfaltigkeit. Es giebt solche wie die meisten Schimmelpilze, z. B. die *Mucorinen*, für welche die gewöhnliche Atmung das durchaus normale ist, und die sich nur durch Sauerstoffabschluss zu der Erzeugung von gährungsartigen Erscheinungen zwingen lassen. Dann giebt es solche, als deren Repräsentant wir Milchsäurebakterien kennen lernen werden, welche in ihrer Entwicklung dankbar sind für Sauerstoffzufuhr. Bei den Hefepilzen ist dies schon wieder weniger der Fall, und so findet sich die Fähigkeit mehr und mehr abgeschwächt bis herunter zu den Buttersäurebakterien und den Schwefelwasserstoffspirillen, die nicht bloss normal in allen ihren Stadien ohne Luft leben, sondern sogar durch Zufuhr von Sauerstoff geschädigt werden.

In dem Gedanken der möglichen Stellvertretung der Atmungserscheinungen bei den Hefepilzen durch chemische Erscheinungen anderer Art, die aber naturgemäss wie jene exothermische sein müssen, durch einen Vorgang innerer oder intramolekularer Atmung, wie man dies genannt hat, scheint also wirklich der Schlüssel für die Erklärung der Erscheinung der alkoholischen Gärung zu liegen. Jede philosophische Betrachtung des Gärungsvorgangs läuft im Grunde auf dieselbe Anschauung hinaus.

Von diesem Gesichtspunkte aus können wir uns selbst mit den vielfach angegriffenen und wirklich übertriebenen Anschauungen Pasteur's vereinigen, weil dieselben von dem gleichen Grundgedanken der Reciprocität von Sauerstoffatmung und Spaltung nach der Gleichung der alkoholischen Gärung getragen werden. Sie besitzen schon den Grundzug, dass an Stelle der Sauerstoffatmung und der infolge davon stattfindenden völligen Oxydation der der Atmung unterliegenden organischen Stoffe die Zerspaltung dieser Stoffe im wesentlichen in Alkohol und Kohlensäure als etwas physiologisch Gleichbedeutendes eintreten soll**). Das Übertriebene in diesen

*) Ganz ähnliches ist durch J. W. Gunning neuerdings für Bakteriengärung erwiesen worden. Siehe weiter unten Vorlesung 12, p. 187.

**) Als klarster Ausdruck dieser Auffassung kann bei Pasteur der Ausspruch angeführt werden: „Durch alle diese Thatsachen geleitet, bin ich nach und nach dazu gelangt, die Gärung aufzufassen als eine notwendige Folge des Lebens, welches ohne direkte Verbrennungen mittelst freien Sauerstoffes vor sich geht“; und dann unmittelbar darauf: „Man kann es als eine Konsequenz dieser Theorie ansehen, dass alle Wesen, alle Organe, alle Zellen, welche leben und ihr Leben fortsetzen, ohne den Sauerstoff der Luft zu beanspruchen, oder die ihn nur in ungenügender Weise für die Gesamtheit ihrer Ernährungsvorgänge in Anspruch nehmen, für die Substanz, welche ihnen als ganze oder ergänzende Wärmequelle dient, den Fermentcharakter besitzen müssen“. — Auch Dumas hatte schon in früher Zeit einen tiefen Blick in die eigentliche Natur der Gärungserscheinungen gethan, als er in seiner *Traité d. Chim. appliquée*, 1843, T. 6, „fermentation“ die Worte aussprach:

Pasteur'schen Aufstellungen, den von anderen vertretenen Anschauungen gegenüber, ist nur, dass nach ihnen für sehr verschiedenartige Organismen *die beiden Eventualitäten bestehen sollen*, so dass sie, sobald man die Sauerstoffatmung unterdrückt, sofort Alkohol und Kohlensäure oder andere Spaltungsprodukte zu produzieren beginnen und vice versa.

Pasteur*) teilte z. B. mit, dass, wenn man Häute von dem bekannten Weinkahm (*Saccharomyces Mycoderma Reess***) , welche z. B. auf einer alkoholischen, aber auch noch zuckerhaltigen Flüssigkeit wachsen und daselbst im wesentlichen den Alkohol in Kohlensäure und Wasser verbrennen, durch wiederholtes Hinunterstossen unter die Flüssigkeitsoberfläche oder auf irgend eine andere Weise an der Aufnahme von freiem Sauerstoff verhindere, diese Organismen den vorhandenen Zucker nach Art der alkoholischen Gärung zerspalten, d. h. also eine wirkliche Gärung desselben veranlassen — Aufstellungen, welche trotzdem, dass sie später von Nägeli gestützt worden sind, sicher auf Täuschung beruhen. Dasselbe Verhalten wurde dann von Pasteur für unseren gemeinen Schimmelpilz *Penicillium glaucum* behauptet***) und in diesem Falle ist der Irrtum gleichfalls als erwiesen anzusehen. Auch dieser sonst sauerstoffbedürftige Verwesungspilz sollte durch Untertauchen in der Flüssigkeit zu einem Veranlasser der alkoholischen Gärung werden.

Aber noch nicht genug. Das gleiche Verhalten soll auf noch viel weitere Kreise sich erstrecken. Auch lebende Zellen oder Zellenkomplexe von höheren Gewächsen sollen bei Absperrung vom Sauerstoff, dessen sie unter gewöhnlichen Umständen zur Unterhaltung ihrer Atmung bedürfen, sich in gleicher Weise betätigen. Für diese Behauptung werden z. B. folgende Belege vorgeführt. 24 vom Baume genommene gesunde Pflaumen gaben, in Kohlensäure aufbewahrt, 6,5 gr Alkohol, ohne ihr Ansehen zu ändern und sichtbar der Fäulnis oder Gärung anheimzufallen. Andere gleichzeitig gebrochene, aber in Luft aufbewahrte Pflaumen wurden unterdessen weich, wässerig und sehr süß. — Die Produktion von Alkohol wurde in diesem Falle von Pasteur nicht etwa einem Befallen der Früchte von Hefepilzen zugeschrieben, sondern den lebenden Zellen der Früchte selbst, welche an der At-

„Die Gärungen sind immer Erscheinungen derselben Art wie die, welche die regelmässige Vollziehung der Lebensvorgänge der Tiere charakterisieren Das Ferment erscheint uns als ein organisiertes Wesen Die Rolle, welche das Ferment spielt, spielen alle Tiere; man findet sie selbst in allen nicht grün gefärbten Pflanzenteilen wieder. Alle diese Wesen, oder alle diese Organe verbrauchen organische Substanz oder spalten dieselbe und führen sie den einfacheren Verbindungen der Mineralchemie entgegen. . . .“ — Auch Béchamp hat sich frühzeitig zu ähnlichen Anschauungen bekannt. Vgl. Compt. rend., 1864, T. 58, p. 601.

*) Compt. rend., 1872, Okt. 7. Auch noch weitere Angaben stehen in dieser Richtung zur Verfügung; so hat van Tighem als eine Beobachtung mitgeteilt (Compt. rend., T. 65, p. 1091), dass Schimmelpilze bei Sauerstoffzutritt die gewöhnliche Gerbsäure beinahe völlig verbrennen, unter die Oberfläche untergetaucht, dagegen wesentlich Spaltung bewirken. Unter den letzteren Umständen gedeihen sie spärlicher.

**) Vgl. Vorlesung 6 und 13.

***) Auch nach Brefeld zeigt dieser Pilz ein gewisses Gärvermögen. Vgl. auch die neuere Arbeit von A. Müntz: Annal. d. Chim. et Phys. (5), T. 8, p. 56.

mung freien Sauerstoffs behindert, auf diese abnorme Art ihr Bedürfnis an diesem Elemente geltend machen und eine Spaltung des Zuckers veranlassen.

Ganz ähnliche Beobachtungen führt der genannte Forscher für eine grosse Anzahl von anderen Früchten und selbst für chlorophyllhaltige Organe, für Laubblätter auf. Alle diese Zellkomplexe sollen im lebenden Zustande und bei Sauerstoffabschluss auf die nämliche Weise Alkohol und Kohlensäure erzeugen.

Diese weitgehenden Behauptungen durften natürlich nicht kritiklos hingenommen werden, und die Zeit, die seit ihrer Aufstellung verflossen ist, hat schon wesentliche Modifikationen für dieselben gebracht. Was die Befähigung der *Mycodermendecken*, auf Flüssigkeiten nach dem Untertauchen alkoholische Gärung zu bewirken, betrifft, so stehen die Behauptungen der deutschen Morphologen, vor allem aus der de Baryschen Schule, den in Rede stehenden Angaben geradezu gegenüber.

Derselbe Widerspruch besteht nun auch in weit erhöhtem Grade hinsichtlich der Alkoholgärung durch untergetauchte Rasen des gemeinen Pinselschimmels. Auch diese Frage haben unsere deutschen morphologischen Autoritäten, wie wir früher ausgeführt haben*), schon seit längerer Zeit eingehend debattiert, weil ähnliche Behauptungen wie die vorliegende Pasteur'sche von den verschiedensten Seiten für *Penicillium* in die Litteratur eingedrungen waren, freilich mit der Annahme einer entsprechenden Formveränderung des genannten Schimmelpilzes. Als Resultat der aufmerksamsten Versuchsanstellungen ging dabei die Nichtbefähigung dieser Form zur Einleitung der Alkoholgärung hervor, auch wenn man für Abschluss von der Luft Sorge trug**).

Andere Angaben Pasteur's haben sich dagegen durch die später anschliessende Forschung mehr oder weniger bewahrheitet. Man hat, wie wir früher gesehen, namentlich die Gärungsbefähigung einiger Mucorinen, vor allem *Mucor racemosus*, einer eingehenden Untersuchung unterzogen und bestätigt gefunden, dass dieselben zu einer allerdings schwachen und bald sich selber unterdrückenden alkoholischen Gärung befähigt sind, und dass hierzu der Abschluss des ganzen Vegetationsvorgangs von der Luft eine notwendige Voraussetzung ist***).

Auch die Angaben unseres hochverdienten Gärungskemikers bezüglich der Alkoholgärung in Früchten haben eine experimentelle Prüfung durchgemacht, und dies ist von besonderer Bedeutung, da die zu Grunde liegende Behauptung als die revolutionärste der ganzen neuen Theorie erscheint.

Zunächst liegen in dieser Beziehung andere Beobachtungen, welche notwendig zu einer ähnlichen Anschauung führen, über die Atmung von Früchten und sonstigen Organen der höheren Gewächse vor. Einmal haben Lechartier und Bellamy das

*) Vorlesung 6, p. 99.

**) *Penicillium* liefert wenigstens unter manchen Umständen noch CO₂ nach O-Abschluss, wenn auch keinen Alkohol; mit Chinasäure und Pepton ernährt allerdings nicht (Diakanow).

***) Brefeld hat das Verdienst, auf die Zweckmässigkeit des gärenden Vermögens gerade bei sauerstoffbedürftigen Formen hinzuweisen. Unter natürlichen Verhältnissen tritt Sauerstoffmangel besonders am Grunde von Flüssigkeiten ein, und durch die bei der Gärung entwickelten Kohlensäureblasen wird die Mucorhefe an die Oberfläche der Flüssigkeit emporgehoben und dort den normalen Verhältnissen wieder zurückgegeben.

gleiche Versuchsergebnisse wie Pasteur bei Abschluss sehr verschiedenartiger Früchte vom Sauerstoff der Luft erhalten (allerdings in vielen Fällen nicht, ohne dass Hefepilze nachgewiesen werden konnten). In mehreren, und zwar nicht ganz vereinzelt dastehenden Fällen wurde jedoch nach der Angabe der Experimentatoren Abwesenheit von allen dergleichen Formen nachgewiesen. — Weiter hat der um verschiedene Teile der Gärungschemie hochverdiente Traube die gleiche Thatsache durch Versuche an Weintrauben ausreichend bestätigt. Junge Früchte besitzen nach ihm das Gärungsvermögen in höherem Grade, aber es erlischt eher. Reife Früchte setzen die Gärung sehr lange, aber mit unmerklich kleiner Intensität fort. Endlich hat neuerdings A. Müntz diese Versuche an wachsenden grünen Pflanzen in Stickstoffgas wiederholt, wobei sich hauptsächlich auch herausstellte, dass die kleine Alkoholerzeugung durch lebende Pflanzenzellen keine Todeserscheinung ist, sondern dass so behandelte Pflanzen später wieder weiter zu wachsen vermögen*). Es ist ferner erwiesen, dass diese eigentümliche Fruchtgärung erlischt unter Einfluss von Mitteln, welche auch die Gärung durch die eigentlichen Gärungsorganismen unterdrücken, z. B. durch Chloroform-, Äther-, Phenyl-, Blausäuredämpfe und durch hohen Sauerstoffdruck**).

Dann giebt es eine Reihe von Mitteilungen, welche zwar nicht direkt Alkoholbildung in vom Sauerstoff abgesperrten Pflanzenorganen behaupten, aber doch und zwar mit noch grösserer Zuverlässigkeit das Eintreten von Spaltungsprozessen mit Kohlensäureabscheidung an Stelle der behinderten Sauerstoffatmung konstatieren. Prinzipiell kommt am Ende ein solcher Sachverhalt auf etwas Ähnliches heraus, ob nun das sauerstoffarme Spaltungsprodukt wirklicher Alkohol oder ein fettartiger Körper ist, wie solche in gesunden Pflanzenteilen regelmässig angetroffen werden. Ich rechne zu diesen Angaben die von Cahours***) seiner Zeit gemachte, dass frisches Obst, wenn man es künstlich verhindert, seine gewöhnliche Atmung auf Kosten von freiem Sauerstoff zu vollziehen, also von Luft abschliesst, einen Spaltungsprozess mit reichlicher Kohlensäureabgabe unterhält, der sich durch verschiedene Anzeichen als ein wirklicher physiologischer Prozess dokumentiert. Ferner kommt hier eine Beobachtung Böhm's in Betracht, der grüne Blätter beim Abschluss von Sauerstoff und bei der Verhinderung, sich diesen Sauerstoff durch Kohlensäurezerlegung zu verschaffen, dauernd Kohlensäure aushauchen sah†), was natürlich auch nur durch Bewirkung eines Spaltungsprozesses möglich ist. Dass es sich auch hier um einen wirklichen Lebensvorgang handelte, und dass das Blatt nur lebend den fraglichen Prozess vollzieht, wurde besonders festzustellen versucht††).

Kurz, es sind — dies muss Pasteur zugestanden werden — unverkennbare Anzeichen dafür vorhanden, dass bei dem Leben sehr vieler Zellen und Zellenkomplexe Spaltungsprozesse mit Verlust von chemischen Spannkraften vikariierend für die Oxy-

*) Compt. rend., T. 86, p. 46.

**) Ebenda, T. 84, p. 1035, 1036 u. s. f.

***) Ebenda, T. 58, p. 495 u. 635.

†) Sitzungsber. d. Wien. Akad., 1873, März.

††) Noch weitergehende Behauptungen als die von Pasteur aufgestellten finden sich bei Bouchardat, nach welchen auch die Hirnzellen erwachsener Tiere das Vermögen besitzen, alkoholische Gärung zu veranlassen (Compt. rend., T. 18, p. 1120).

dationsvorgänge bei der Atmung eintreten können. Ob diese Spaltungsprozesse wirklich in einer grösseren oder kleineren Anzahl von Fällen auf Zerlegung von Kohlenhydraten nach der Gleichung der alkoholischen Gärung hinauslaufen, muss einstweilen noch skeptisch entgegengenommen werden, bis diese Anschauung durch noch exaktere Versuche, bei welchen mit allen Mitteln, über welche die moderne Bakteriologie verfügt, die thatsächliche Abwesenheit von niederen Organismen, welche sich so leicht einschleichen, hinlänglich festgestellt ist.

Es darf auch nicht aus dem Auge gelassen werden, dass gelegentliche Erzeugung von Alkohol bei derartigen natürlichen Spaltungsprozessen und eigentliche Alkoholgärung nach den genau festgestellten Verhältnissen der Pasteur'schen Gleichung noch nicht schlechthin dasselbe ist. Eine wirkliche alkoholische Gärung im letzteren Sinne mit Glycerin als Nebenprodukt ist nur für *Mucor racemosus* und einige andere Formen nachgewiesen. — Doch genug von diesen Belegen und Ausnahmen. Suchen wir lieber aus dem vielen Detail den allgemeinen Gesichtspunkt wieder hervor.

Die Auffassung, die Gärung als eine Stellvertretung für die Atmung von freiem Sauerstoff zu betrachten, beruht keineswegs auf diesem Verhalten beliebiger Zellen und Zellenkomplexe bei Abschluss der Luft, sondern vielmehr auf der folgenden Thatsache, dass alle Organismen entweder die eine oder die andere der beiden miteinander verglichenen Prozesse unterhalten, was natürlich nicht ausschliesst, dass manchmal die beiden Erscheinungen gleichzeitig statthaben und dass bei manchen für beide Erscheinungen zugängliche Organismen, wie namentlich an den alkoholischen Hefepilzen erwiesen, die Gärung um so schwächer wird, wenn auch nicht gänzlich in den Hintergrund gedrängt wird, je günstiger sich die Bedingungen für die Ausübung der freien Atmung gestalten.

Atmung und Gärung haben ferner auch aus einem theoretischen Gesichtspunkte das Gemeinschaftliche, dass beide exothermische Erscheinungen sind und somit eine Quelle von Energie eröffnen für die zum Leben notwendigen organischen Leistungen. Dass auch ohne weiteren Zutritt von Sauerstoff eine solche Energiequelle, freilich durch Umsatz von vergleichungsweise viel grösseren Mengen von Stoff (womit die Erfahrung übrigens in vollkommener Übereinstimmung steht), zu Gebote gestellt werden kann, ist dann chemisch leicht erklärlich aus der grösseren Sättigung des Kohlenstoffs mit dem Sauerstoff durch den Gärungsumsatz, welche Erscheinung, wie wir später noch deutlicher sehen werden, regelmässig für alle bekannten Gärungserscheinungen ist. Der Wasserstoff wird dabei eines Teiles seiner Bindungen an den Sauerstoff beraubt und obgleich auch die Affinität zwischen diesen beiden Elementen sehr gross ist, so ist doch die zwischen Kohlenstoff und Sauerstoff noch grösser, so dass ein Überschuss von chemischer Energie auf diese Weise verfügbar wird*).

*) Die Verbrennungswärme des Kohlenstoffs ist allerdings kleiner wie die des Wasserstoffs (bei Verbrauch gleich grosser Mengen von Sauerstoff). Aber dies rührt bekanntlich daher, dass der Kohlenstoff mit der Verbrennung auch noch verflüchtigt werden muss, also die Verdampfungswärme desselben dem Effekt entzogen wird. Dass dies so ist, erhellt am besten aus der Verbrennungswärme des Kohlenoxyds, welche $\frac{1}{6}$ grösser ist als die des Wasserstoffs, wenn man in beiden Fällen gasförmige Verbrennungsprodukte erzielt. — Bei Gärungen ist gewöhnlich der sich umsetzende Stoff vor und nach der Gärung zunächst in flüssiger

Die hier vertretene Anschauung halte ich auch bei dem jetzigen Stand unserer Kenntnisse, nachdem man die Abwesenheit von Sauerstoff als eine keineswegs unerlässliche *Conditio sine qua non* der Gärung mit Sicherheit erkannt hat, als die natürlichste, und eine Reaktion gegen dieselbe, zu deren Wortführer sich in neuerer Zeit der verdiente Bakteriologe F. Hueppe gemacht hat*), darf sich meines Erachtens nur richten gegen die übertriebene Vorstellung dieses Verhältnisses durch Pasteur, welcher zu Anfang Gärung und Leben bei Abschluss von Luft (Anaërobiose) identifizieren zu wollen schien. Dies ist entschieden zu weit gegangen, da nicht alle lebenden Zellen auch bei Abwesenheit von Sauerstoff eigentliche Gärung zu bewirken vermögen und andererseits manche Hefezellen auch bei Überfluss von Sauerstoff fortfahren, Gärung zu erregen. Aber ein Grundgedanken war von Pasteur damit doch ausgesprochen worden, ein Grundgedanken, welchen wir so lange für richtig halten müssen, bis jemand im Sinne Nägeli's den Sauerstoff bei einer reinen Spaltungsgärung (Umsatz, wobei der freie Sauerstoff aus dem Spiele bleibt) mit Sicherheit als gärungsfreundliches Agens erweist**).

Auch die scheinbar zu entgegengesetzten Resultaten führenden Untersuchungen von Diakanow***) mit Schimmelpilzen können als Stütze dieser Anschauungen dienen. Jene beweisen nämlich, dass zwar (mit Zucker ernährte) Pilze im allgemeinen eine grosse Abschwächung ihrer Kohlensäureproduktion ergeben, wenn man ihnen an Stelle von Luft Wasserstoffgas zuführt, was kein Wunder ist, weil hierdurch der ihnen notwendige Atmungsprozess unmöglich gemacht wird; dass aber schon bei Pilzen, die sich durch Gärtüchtigkeit auszeichnen (eine *Mucorart*), diese Abschwächung sehr unbedeutend ist; ferner dass Pilze, mit nicht gärfähigen Stoffen ernährt, auf denen sie aber bei Gestattung der Sauerstoffatmung gut gedeihen, durch Sauerstoffentzug bald absterben. Also auch dadurch markiert sich die Gärung als eine die Atmung bis zu einem gewissen Grade vertretende physiologische Erscheinung; denn sie hat die Tendenz, das Leben bei Ausschluss des gewöhnlichen Oxydationsprozesses zu unterhalten.

Praktische Folgerungen aus den soeben gemachten Darlegungen sind natürlich, dass man in den Fällen, wo die Gärung oder die Alkoholerzeugung selbst der Zweck sind, den Zutritt der Luft beschränken muss, ganz abgesehen von der Bekämpfung

Form anwesend. Gase entweichen nur sekundär, wodurch ein Teil der bei der Gärung erzeugten Wärme wieder in Anspruch genommen wird.

*) Vgl. z. B.: Über die Zersetzungen der Milch. Deutsche Medicin. Wochenschr., 1884.

**) E. O. v. Lippmann rechnet irrtümlicherweise den Verfasser dieser Vorlesungen zu den Vertretern der Nägeli'schen Behauptung der Gärungsbegünstigung durch O. Vgl. dessen Chemie der Zuckerarten, 1895, p. 210.

***) Ber. d. deutsch. botan. Gesellsch., 1886, IV, H. 1. Auch in Bezug auf die gewöhnliche Eiweissfäulnis, welche durch Bakterien erzeugt wird, ist erwiesen, dass bei vollständiger Durchlüftung Atmungsprodukte wie Kohlensäure, Wasser und Ammoniak erzeugt werden und die übrigen charakteristischen Fäulnisprodukte wie Wasserstoff, Sumpfgas, Skatol, Leucin, Tyrosin entweder gar nicht oder wie die beiden letztgenannten nur vorübergehend auftreten, so dass also auch hier Atmung und Gärung (Fäulnis = Eiweissgärung) als verschiedene Erscheinungsformen des Stoffwechsels unter in Bezug auf den Sauerstoff verschiedener Lebensweise erscheinen. Vgl. Hoppe-Seyler: Zeitschr. f. physiol. Chemie, 1883, 8, p. 214.

konkurrierender aeröbischer Organismen, da man eben auf diese Weise ein Maximum an Alkohol erhält. Nur vorübergehend wird in solchen Fällen die Lüftung zuweilen empfohlen, wenn nämlich erst die zur Werkstellung einer starken Gärung notwendige Hefe gezüchtet werden muss; so in Anwendung gebracht für die Lothringer Schaufelweinbereitung.

Wenn dagegen Erzeugung von Hefe das Ziel der Fabrikation ist, da sie z. B. mehr einbringt als der Alkohol, dann ist eine Zufuhr von Luft in der Praxis häufig angezeigt. Wenn man dementsprechend im ersteren Falle nur mit einem Gärspond versehene, im übrigen geschlossene Fässer als Gärbehälter wählt, oder wie bei der (zumal der englischen) Bierbrauerei häufig Gärkufen von ungeheueren Dimensionen und daher relativ geringer Oberfläche, so wählt man für die *Presshefefabrikation**), wobei sich die Menge der Hefe bei einer Operation wohl verfünffach, oder für die Erzeugung von in eigenem Betrieb zu verwendender besonders kräftigen *Kunsthefe* offene Gärkufen von kleineren Dimensionen und hat auch schon mit Erfolg versucht, Luft durch die gärende Masse hindurchzupumpen.

Hier ist dann auch der beste Ort, um einer Erscheinung**), von der eingehender zu sprechen wir bis jetzt vermieden haben, kurz Erwähnung zu thun. Unter „*Selbstgärung*“ der Hefe verstehen wir die *Entstehung von Alkohol und Kohlensäure aus der Substanz der Hefe selbst, in Abwesenheit einer umgebenden Zuckerlösung*. Dieselbe tritt ein, wenn alle übrigen Vegetationsbedingungen des Hefepilzes erfüllt sind, und dieser sich in lebenskräftigem Zustande befindet, ist also namentlich bemerkbar an grösseren Hefemassen, die eben noch alkoholische Gärung vollzogen haben und welche dann bei günstiger Temperatur (25—35° C. wird als Optimum angegeben) und bei Wasserreichtum sich selber überlassen bleiben***). Ungenügende Luftzufuhr ist dabei ebenfalls eine „*Conditio sine qua non*“, weil sonst die Bedingungen der Fruktifikation gegeben wären. Diese Bedingung wird offenbar in der Anhäufung grösserer Hefemengen erfüllt.

Diese Erscheinung, die viel Kopfzerbrechens gemacht und namentlich auch zu einer Erörterung zwischen Pasteur und Liebig Veranlassung gegeben hat, ist nun nach dem Gesagten am naturgemässesten folgendermaassen zu interpretieren — wodurch die von uns betonte Analogie zwischen den Vegetationserscheinungen von höheren Gewächsen und den Hefepilzen noch mehr hervortritt. Es muss nach unseren Vorstellungen als eine jeder lebenden Hefezelle eigentümliche Lebenserscheinung angesehen werden, sobald die nötige Wärme und Wassermenge vorhanden ist, zu sprossen, vielleicht Neubildungen zu machen†), genau wie dies bei irgend einer fortbildungsfähigen Zelle eines höheren Gewächses der Fall ist. Die

*) Über das Messen der Gärkraft dieses Handelsproduktes nach einem sehr einfachen Prinzip, dessen die Bäcker sich bedienen, vgl. Meissl: Zeitschr. f. Spiritusindustrie, 1883, Nr. 45, und G. Thoms: Baltische Wochenschrift, 1886, Nr. 21.

**) Dieselbe schon von Berthelot 1856 beobachtet (Compt. rend., T. 43, p. 238).

***). Vgl. auch in Bezug auf diesen Gegenstand Béchamp: Compt. rend., T. 53, p. 603.

†) Allerdings ist der experimentelle Nachweis für das Stattfinden einer weiteren Sprossung bei der sogenannten Selbstgärung noch nicht deutlich erbracht. Vgl. übrigens Compt. rend., T. 46, p. 460.

Ernährung ist in allen diesen Fällen das Sekundäre, von dem die Dauer eines solchen Vorgangs abhängig ist; die Umsetzung von organischen Bestandteilen findet zunächst selbständig und auch ohne diese Ernährung statt. Dieselbe Gesetzmässigkeit besteht ja auch genau in der gleichen Weise für die tierische Atmung, welche auch der primäre Akt ist, und für welche die Ernährung nur einen nachträglichen Ersatz bietet.

Bei der sogenannten Selbstgärung der Hefe müssen also die neuen Zellen auf Kosten von schon in den Mutterzellen vorhandenen Substanzen gebildet werden. So ist beispielsweise nachgewiesen worden, dass bei diesem Vorgange die Cellulose der alten Zellen zum Zwecke der Neubildungen teilweise verbraucht wird.

Doch gehen wir nicht näher auf diese an und für sich interessante Erscheinung ein, da sich durch neuere Untersuchungen über diesen Gegenstand herausgestellt hat, dass jene häufig nicht rein als solche, sondern vermengt mit Fäulniserscheinungen, die durch Bakterien auf Kosten der z. T. absterbenden Hefezellen unterhalten wird, zur Beobachtung gelangt ist. Es bleibt also abzuwarten, was neue Untersuchungen über diesen Gegenstand ergeben werden.

Wir können auf Grund unserer heutigen Betrachtungen dann folgende neue Sätze aufstellen:

- 1) Die gewöhnlichen alkoholischen Hefepilze bedürfen in dem rein vegetativen Stadium nicht notwendig des freien Sauerstoffs, und die Zuführung dieses hat bei sonstiger zweckmässiger Ernährung auch keinen sehr erheblichen Einfluss auf den Verlauf der Gärung.
- 2) Dagegen bedürfen diese Pilze in gewissen Vegetationsperioden, so bei Sporenbildung und dem Austreiben aus den Sporen, allerdings des freien Sauerstoffs.
- 3) Ältere Hefezellen dagegen oder solche, die mit schwer assimilierbaren stickstoffhaltigen Nährstoffen versehen werden, bedürfen häufig, um vegetieren zu können, der Anwesenheit von freiem Sauerstoffe. Auch wirkt der Vollzug direkter Atmung ganz allgemein günstig auf eine ausgiebige Vermehrung der Hefepilze ein.
- 4) Auch andere Zellen von Pilzen und von Pflanzen überhaupt sind, wenn auch in sehr verschiedenem Grade, bei Abschluss von Sauerstoff zu einer Art alkoholischer Gärung oder wenigstens zu Kohlensäureabspaltung befähigt. Diese kann aufgefasst werden als ein stellvertretender Prozess für die wirkliche Atmung.
- 5) Die Zerspaltung des Zuckers in Alkohol, Kohlensäure und die übrigen Gärungsprodukte repräsentiert einen Verlust an chemischen Spannkraften und kann auch insofern als eine Art von Analogon für die Oxydationerscheinung bei der Atmung anderer Organismen angesehen werden.
- 6) In der Praxis der Gärungsgewerbe ist die Lüftung vorteilhaft, wenn es sich um starke Hefevermehrung handelt, sei es zum Zweck der Hefefabrikation oder um die zur Gärung dienende Hefe zu vermehren.
- 7) Für die Intensität der Gärung an sich, sowie für die Reinheit der Gärung dagegen ist Luftabschluss vorteilhafter.

Elfte Vorlesung.

Andere Gärungsprozesse. — Die Essiggärung.

Wir haben in unserer bisherigen Darstellung die alkoholische Gärung, welche nicht bloss die beststudierte aller Gärungserscheinungen ist, sondern auch die grösste praktische Wichtigkeit unter allen für sich in Anspruch nimmt, soweit es unsere heutigen Kenntnisse und mein Überblick über dieselben erlaubten, nach allen Seiten hin beleuchtet. Hierdurch haben wir ein Bild vom Wesen einer Gärungserscheinung überhaupt erhalten, und wir dürften uns, auch wenn das über die andern hierhin gehörigen Erscheinungen vorliegende experimentelle Material nicht ein gerade in chemischer Beziehung noch so unvollständiges wäre, bei Besprechung derselben mit einem kurzen Überblick oder gar mit wenigen Andeutungen begnügen.

Ein Vorgang jedoch, der für das Wesen einer Oxydationsgärung als eine Art von Musterbild angesehen werden kann, ebenso wie die alkoholische Gärung für das Wesen einer Spaltungsgärung die beststudierte in dieser Richtung ist, soll zunächst in dieser Vorlesung etwas eingehender beleuchtet werden. Ich meine den Vorgang der *Essiggärung alkoholischer Flüssigkeiten*, durch welchen, unter dem Einflusse des Sauerstoffs der Luft, Alkohol im wesentlichen zu Essigsäure oxydiert wird.

Suchen wir auch diesen Vorgang zunächst, soweit wie möglich, *chemisch* festzustellen, nachdem wir zuvor die Bemerkung gemacht haben, dass derselbe als ein praktisch hoch wichtiger seit den ältesten Zeiten den Menschen bekannt und von denselben zu ihren Zwecken ausgebeutet worden ist.

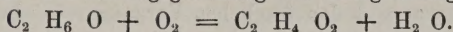
Alkoholische Flüssigkeiten von bestimmter näherer Beschaffenheit, welche wir nachher festzustellen haben werden, erleiden ganz regelmässig, besonders bei höherer Sommertemperatur, ohne Zuthun des Menschen eine Veränderung, die sich durch eine Abnahme der berauschenden Wirkung, durch eine Zunahme des sauren Geschmacks und Geruchs charakterisieren lässt, d. h. chemisch gesprochen, sie verlieren an Alkohol und gewinnen an Essigsäure.

Es ist nun schon seit langer Zeit nachgewiesen, dass dieser letztere Körper auf Kosten des ersteren entsteht, und dass hierzu bei der Zusammensetzung derselben der Zutritt von Sauerstoff, der Verlust von Wasser notwendig ist. In der That konnte dann auch besonders erwiesen werden, dass bei völligem Abschluss des Sauerstoffs der Prozess verhindert wird, so dass geradezu in diesem Falle der freie Sauerstoff der Luft die einzige Quelle für den Mehrgehalt der Essigsäure an diesem Elemente darstellt*). Die eigentliche Gärungsgleichung ist dann wie zunächst auch bei der

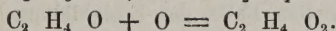
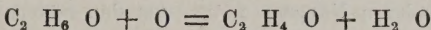
*) Historisch ging aus leicht begreiflichen Gründen diese letztere Entdeckung jener ersteren voraus. Der Abbé Rozier machte zuerst auf die Absorption der Luft bei dem Sauerwerden der Weine aufmerksam (Fourcroy: *Elements d'Hist. nat. et de Chim.*, 1786, T. 4, p. 220) u. Lavoisier bestätigte diese Behauptung speziell für den Sauerstoff der

alkoholischen Gärung mehr aus der Zusammensetzung der beiden Körper gefolgert, als direkt empirisch erwiesen worden, namentlich da die Essiggärung bis jetzt ihren Pasteur nicht gefunden hat, der es sich zur zeitraubenden Aufgabe gemacht hätte, alle dabei in kleinsten Mengen auftretenden Stoffe im einzelnen zu ermitteln*). Auch ist es Thatsache, dass die Essigsäure in nahezu dieser Annahme entsprechenden Mengen in den gesäuerten Flüssigkeiten gefunden wird.

Wir schreiben also die Gärungsgleichung der Essigbildung einfach:



Höchstens geben wir noch der Thatsache, dass bei der Essiggärung auch Aldehyd**) in wechselnden Mengen gefunden wird, dadurch Ausdruck, dass wir diesen Körper als eine Stufe des Vorgangs ansehen, die vorübergehend beschritten werden muss. Wir schreiben dann:



Doch ist eigentlich diese Vorstellung mehr der Oxydation des Alkohols unter Mitwirkung von Platin entnommen, die, wie wir nachher sehen werden, in wesentlich anderer Weise verläuft.

Weitere chemische Thatsachen sind über die Essiggärung kaum bekannt; denn dass in Weinessigen und sauer gewordenen Weinen der Geruch nach Essigäther auftritt, kann ebensowohl einem nachträglichen rein chemischen Vorgang als der Gärungserscheinung selbst zugeschrieben werden, wie sich denn ja bekanntlich in den meisten alkoholischen Flüssigkeiten, welche organische Säuren enthalten, nach längerer Zeit und namentlich bei höherer Temperatur die entsprechenden Äther bilden.

Die Frage nach der Ursächlichkeit der Essiggärung hat natürlich in den wesentlichsten Stücken eine gemeinschaftliche Entwicklung gehabt mit dieser Frage für die Gärungserscheinungen überhaupt. Doch ist von einzelnen abweichenden Phasen in dem Erkenntnisprozess Notiz zu nehmen.

Wir lassen die älteren Essigbildungstheorien***) beiseite liegen und beachten nur die bekannte Kontroverse, welche für den in Rede stehenden Vorgang bis in die

Luft. Die chemische Gleichung der Essiggärung konnte dann erst nach genauer analytischer Feststellung der Zusammensetzung der in Betracht kommenden Stoffe in unserem Jahrhundert aufgestellt werden.

*) Döbereiner hat um die Feststellung der Gleichung der Essiggärung die meisten Verdienste, indem er zeigte, dass keine Kohlensäure durch diesen Oxydationsprozess des Alkohols entsteht, und dass Sauerstoff in den Verhältnissen aufgenommen wird, als es die Gleichung erfordert (Schweiger's Journal, T. 8, p. 321).

**) Aldehyd tritt nach einigen Angaben unter gewissen Umständen (unvollständigem Sauerstoffzutritt) auch bei der Schnelllessigfabrikation mittelst Hobelspänen auf, wie denn auch manche säuernden Flüssigkeiten den Geruch nach Aldehyd zeigen.

***)) Die Unterscheidung von einer sauren Gärung neben einer geistigen und einer fauligen (vgl. Vorl. I, p. 10) ist sehr alt und schon in allen chemischen Handbüchern des vorigen Jahrhunderts anzutreffen. Berzelius hat dann später eine Fermenttheorie der Essiggärung aufgestellt, nach welcher schon etwas vorhandene Essigsäure als Ferment dient. Aus diesem Grunde soll die mit Essig geschwängerte Essigmutter die weitere Säuerung so gut vollziehen. Vgl. Berzelius: *Traité d. Chim.*, T. I, p. 159, u. T. XI, p. 552.

neuere Zeit bestand. Auch hier begegnen wir wieder den Namen Liebig und Pasteur als einander gegenüberstehend. Der erstere, welcher sich zuvor grosse Verdienste erworben hatte um die nähere Feststellung der chemischen Produkte der Oxydation des Alkohols mit Hilfe von Platinmohr*), bildete seine Theorie in konsequenter Weise übereinstimmend mit seiner allgemeinen früher ausführlich erörterten Anschauung aus**). Die Möglichkeit der Bildung von Essigsäure mit Hilfe von Platinmohr schien Liebig ein Fingerzeig zu sein, jeden Gedanken an einen physiologischen Prozess von vornherein verbannen und den fraglichen Vorgang rein chemisch-physikalisch erklären zu müssen. Dieses Unternehmen führte er mit Hilfe seiner früher erwähnten Theorie von der Mitteilung der chemischen Bewegung in der bekannten geistvollen Weise durch, indem er sich unverkennbar den älteren Ansichten Stahl's bis zu einem gewissen Grade näherte. Da reiner Alkohol an der Luft nicht sauer wird, so ist die Gegenwart eines anderen Körpers nötig, um den Säuerungsprozess möglich zu machen und zwar in dem speziellen Falle der Essigbildung die eines organischen Körpers. Diese organische Materie ist nach Liebig das Ferment. Als solches funktioniert wieder ein *stickstoffhaltiger hoch organisierter Körper*, der an der Luft sehr leicht Veränderungen erleidet und diese „chemische Bewegung“ anderen veränderungsfähigen Verbindungen mitteilt***). —

Zur Erhaltung der Eigenschaften des Fermentes ist vor allem Gegenwart von Wasser eine Bedingung, wohingegen die Siedhitze, starker Alkohol und einige schwere Metallsalze die Wirkungen desselben aufheben; ebenso wirken auch einige Alkaloide.

Dieser Körper nun, mit alkoholischen Flüssigkeiten in Berührung, zersetzt sich und giebt hierdurch auch dem Alkoholmolekül einen Anstoss zur Zersetzung, die rastlos weiter fortschreitet. Je mehr Sauerstoff dem Alkohol geboten wird, desto rascher „verwest“ derselbe und bildet Essigsäure.

Die Oxydation durch Platinmohr schien, wie gesagt, Liebig über die Art der Wirkung der organischen Materie Klarheit zu verschaffen. Das verwesende Ferment wirkt wie Platinmohr, indem es den Sauerstoff kondensiert. Genau ebenso wirken nach ihm bei der Schnellessigfabrikation die Hobelspäne, obgleich dieselben in ihrer Eigenschaft und Zusammensetzung der sonst üblichen Definition von organischen Fermenten wenig entsprechen. Ein Teil des Wasserstoffs des Alkohols oxydiert sich zunächst zu Wasser; es entsteht Aldehyd, welcher nun seinerseits in Essigsäure übergeht†).

*) Der früher von Döbereiner als Sauerstofffäher bezeichnete Körper erwies sich dabei als ein Gemenge von *Acetal* und *Aldehyd*.

**) Annal. d. Chem. u. Pharm., B. 30, 1839, u. Liebig: Org. Chemie i. i. A. auf Agrikultur und Physiologie, 1840.

***) Diese Darstellung ist z. T. der Abhandlung entnommen, welche ich in Gemeinschaft mit W. v. Knieriem über Essiggärung (Landw. Versuchsst., B. 16, p. 305) veröffentlicht habe.

†) Wenn wir die Ansichten von Berzelius und Liebig vergleichen, so finden wir, dass sie in einigen Punkten übereinstimmen, in anderen aber wesentlich voneinander abweichen. Beide hielten die Anwesenheit eines Fermentes für notwendig, dagegen waren ihre Ansichten über die Natur des Fermentes gänzlich verschieden. Nach Berzelius

Man erkennt zugleich aus dem Mitgeteilten aufs neue, dass die Liebig'sche Gärungstheorie in ihrer Anwendung auf die Essigbildung keinen ganz einheitlichen Charakter an sich trägt. Einmal sollen es die gelösten stickstoffhaltigen organischen Substanzen des Essiggutes sein, welche die Stelle eines Sauerstoffüberträgers spielen, einmal unter den Umständen der Schnellessigfabrikation die Hobelspäne, später sogar nach Bekanntwerden der Pasteur'schen Untersuchungen in gleicher Weise die *Mycoderma*-Decke. Es ist dies eine schon früher angedeutete Schwäche der geschilderten Anschauung, die aber ganz besonders dem Spezialfall der Essigbildungstheorie anhaftet.

Pasteur hat seine Anschauungen über Essiggärung kurz nach dem Erscheinen seiner Abhandlungen über Alkoholgärung im Jahre 1862 zuerst veröffentlicht*). Die Liebig'sche Theorie, die bis dahin die herrschende war, wurde infolge der Entdeckungen des französischen Gärungschemikers wenigstens in einem Punkte dauernd erschüttert. Wenn Pasteur für seine Erklärung einen physiologischen Akt auch direkt nicht in Anspruch nimmt, und deshalb seine Essigbildungstheorie keineswegs als eine getreue Kopie von seiner Theorie der alkoholischen Gärung aufgefasst werden darf, so ist doch nach ihm die Anwesenheit einer niedrigen Pflanze, sog. *Mycoderma aceti* oder, um sie gleich mit dem später üblichen Namen zu bezeichnen, *Bacterium aceti***), welche sich in dünnen, populär auch wohl als „Essigkahn“ bezeichneten, Häuten über die Oberfläche der säuernden Flüssigkeit ausbreitet, zur gewöhnlichen Essigbildung unumgänglich notwendig, und nur diese Pflanze besitzt von den organischen Körpern allein die Fähigkeit, den Alkohol zu Essigsäure zu oxydieren. Untergeht bewirkt das *Bacterium aceti* nicht mehr die Säuerung der Flüssigkeit.

Der Hauptunterschied der Liebig'schen und Pasteur'schen Ansicht ist mithin, dass der erstere ursprünglich die fermentartig wirkende stickstoffhaltige organische Materie, welche die Flüssigkeit enthält, selbst als Sauerstoffverdichter ansieht, während dieselbe nach dem französischen Chemiker nur *die Nahrung des Essigpilzes ist*,

wirkte, wie schon gesagt, hauptsächlich der in den Poren von Essigmutter, saurer Hefe, oder auch saurem Brot enthaltene Essig gärungserregend; nach Liebig wirkte dagegen ein verwesender organischer Körper als Sauerstoffüberträger.

*) Compt. rend., T. 54, p. 265. Schon früher waren vereinzelte Angaben gemacht worden über die sog. *Mycoderma aceti*, einen mikroskopischen Organismus, der bei der Essiggärung auftreten sollte, so namentlich von Thomson (Annal. d. Chem. und Pharm., B. 83), der eine Analyse der Essigmutter mitteilt und auch Essiggärung auf einer Zuckerlösung durch *Mycoderma aceti* beobachtet haben will. (In dieser Richtung vergl. auch Blondeau: Compt. rend., T. 57, p. 953.) Thomson ist der Ansicht, dass die aus einzelnen Zellen bestehende Pflanze als Sauerstoffverdichter wirkt, teilt aber auch den Hobelspänen bei der Schnellessigfabrikation diese Kraft zu. — Dagegen schien für Liebig's Theorie die vermeintliche Beobachtung Mulder's (Ann. d. Chem. u. Pharm., B. 46, p. 207) zu sprechen, dass die Essigmutter keine Asche hinterlasse und eine chemische Verbindung der Cellulose sei, insofern als er damit der Essigmutter den Platz unter den Organismen streitig machte.

**) Über die botanische Natur dieser Pflanze siehe weiter unten; der zuerst angegebene Name stammt von Persoon. Vgl. Pasteur: *Études sur le vinaigre*, p. 11. Die Essigmutter, eine eigentümliche Modifikation jener Häute, wurde von Kützing als eine Pflanze *Ulvina aceti* beschrieben. Vgl. Journ. f. prakt. Chem., B. 11, p. 390.

der diese Übertragung vollzieht. Auch konnte letzterer eine Essigbildung ebenso wie früher die Alkoholgärung ganz ohne stickstoffhaltige organische Materie vor sich gehen lassen, indem er als stickstoffhaltige Nahrung ein Ammoniaksalz neben gewissen Aschenbestandteilen dem verdünnten Alkohol zufügte*).

Zugleich beobachtete Pasteur, dass, während die genannte kleine Pflanze den Alkohol unter Sauerstoffaufnahme zu Essigsäure verbrennt, derselbe durch einen anderen mikroskopischen Organismus, morphologisch den Hefepilzen zugehörig, gleich dem gewöhnlichen Weinkahm unter der gleichen Bedingung vollständig zu Kohlensäure und Wasser oxydiert wird.

Es ist nicht zu verkennen, dass wir durch die Arbeiten des verdienten französischen Gärungschemikers ein grosses Stück vorwärts gekommen sind in der Erkenntnis auch des gewöhnlichen Essigbildungsprozesses, dass aber gleichwohl durch ihn die Liebig'schen Anschauungen noch nicht völlig aus der Welt geschafft wurden. Sie konnten dies nicht, weil den Anhängern der Liebig'schen Theorie nichts im Wege stand (wie dies auch thatsächlich später geschehen ist), auch die Essigkahnhaut als einen mechanischen Sauerstoffüberträger ähnlich wie Platinmohr oder Hobelspäne anzusehen und so die von Pasteur konstatierte Thatsache als einen Spezialfall dem allgemeinen Erklärungssystem einzuordnen. Wie nahe eine solche Auskunft lag, dies ergibt sich am besten aus der Stellung Pasteur's selber, der trotz der anscheinend grossen Beweiskraft seiner Versuche doch die Kahnhäute nicht unähnlich dem Platin den Sauerstoff *mechanisch* auf den Alkohol übertragen lässt**).

Bei diesem Stande der Frage hatte seiner Zeit der Autor dieser Vorlesungen in Gemeinschaft mit einem Schüler, W. v. Knieriem, der sogar die Mühen des experimentellen Teils der Untersuchung wesentlich auf seine Schultern genommen hat, Veranlassung gehabt, sich mit derselben etwas eingehender zu befassen***), und einige der gewonnenen Resultate müssen hier notwendig angeführt werden.

Die ersten Versuche, die wir damals anstellten, behandelten die Frage: *Wirkt fein verteiltes Platin unter ähnlichen Umständen und mit ähnlichem Erfolge auf die*

*) Da stickstoffhaltige organische Körper der Proteingruppe kaum aschenfrei darzustellen sind, meistens Phosphate und andere Salze enthalten, so können diese gewöhnlich allein der Pflanze die nötige Nahrung geben.

**) Belegstellen hierfür sind in den Pasteur'schen Schriften nicht gar viele vorhanden, wie dieser Forscher überhaupt es liebt, die Thatsache für sich reden zu lassen — ein an sich lobenswertes Prinzip, das uns aber bisweilen über seine eigentliche Meinung im Dunkeln lässt. Ich begnüge mich, folgende seiner Worte (*Études sur le vinaigre*, p. 72) anzuführen:

„Natürlicher Wein, mit Wasser verdünnter Wein alle diese Flüssigkeiten werden in Berührung mit der Luft niemals sauer durch direkte Oxydation. Doch es giebt ihrer keine, welche nicht fähig wäre, sehr rasch und häufig in vierundzwanzig Stunden *Mycoderma vini* oder ein Gemisch von *Mycoderma vini* mit *Mycoderma aceti*, oder endlich reine *Mycoderma aceti* auf sich entstehen zu lassen — Vegetationen, denen die eigentümliche Fähigkeit zukommt, den Sauerstoff der Luft in der Weise wie Platinmohr zu fixieren, zu kondensieren und so die mehr oder minder vollständige Verbrennung der gelösten Stoffe und nachgewiesenermassen des Alkohols und der Essigsäure zu bewirken.“ — Die citierte Schrift ist von der grössten Bedeutung für das ganze Kapitel.

***)) Vgl. die schon citierte Abhandlung: Landw. Versuchszt., B. 16, p. 305.

Oxydation des Alkohols wie Bacterium aceti, und kann dasselbe in dieser Funktion durch andere poröse Körper, namentlich durch solche von der physikalischen Beschaffenheit einer Kahlhaut vertreten werden?

Man begreift, dass in der Erörterung dieser Frage der Schwerpunkt der ganzen Versuchsanstellung liegen musste, denn die Fähigkeit des Platinmohrs, den Alkohol zu Essigsäure zu oxydieren, bildet ja die wesentliche Grundlage für die physikalische Auffassung des ganzen Vorgangs.

Einige Versuche mit Platinmohr, in der bekannten Weise ausgeführt, ergaben nun, dass dieser poröse Körper in gleichartiger Weise wirkt, ob man ihn mit verdünntem oder hochprozentigem Alkohol, resp. den Dämpfen desselben in Berührung bringt*), während bekanntlich dieser Prozess unter den Bedingungen, wie sie die Praxis der Essigfabrikation bietet, sich nur bei einer Konzentration von höchstens 10 % Alkohol (oder ein wenig mehr) vollzieht. Diese Thatsache mag z. T. bekannt gewesen sein; allein man hat ihr früher wenig Beachtung geschenkt.

Auch in Bezug auf die *Temperatur* hat sich für den Essigbildungsprozess mittelst Platin eine sehr grosse Unabhängigkeit durch unsere Versuche herausgestellt. Die Anwendung von höheren Temperaturen (worunter wir einstweilen aus nachher sich ergebenden Gründen Temperaturen über 35 ° C. verstehen wollen) *steigert eher die Intensität dieses Vorgangs*, schon weil hierdurch die Tension des Alkohols, also die für die chemische Aktion in der Zeiteinheit zur Verfügung stehende Menge, vermehrt wird, bis endlich Explosion und Verbrennung des Alkohols mit Flamme zu Wasser und Kohlensäure erfolgt. Die Essigbildung unter gewöhnlichen Umständen besitzt dagegen ein *Optimum bei verhältnismässig niedriger Temperatur* (zwischen 20 und 30 ° C., aber näher der letzteren Temperatur), geht unter 10 ° C. mit äusserster Langsamkeit vor sich und nimmt andererseits schon bei 35 ° sehr kleine Werte an, um wenig Grade darüber völlig unterdrückt zu werden**).

Sodann waren unsere Versuche auf die Frage gerichtet, ob poröse organische Materien, wie gereinigtes Filtrierpapier, als Sauerstoffüberträger bei der Essigbildung zu wirken vermögen. Sowohl gereinigte Papiermasse, mit Alkohol unter den im

*) Z. T. im Widerspruch mit den Angaben unserer bekanntesten Werke über Essigfabrikation.

**) Wir beabsichtigten mit der Mitteilung dieser leicht erreichbaren Versuchsergebnisse nichts, als darauf aufmerksam zu machen, dass Platin im feinverteilten Zustande nicht durchaus unter analogen Verhältnissen wirkt wie die Stoffe, die unter den gewöhnlichen Verhältnissen der Essigfabrikation die Oxydation des Alkohols vollziehen. Aus der Ähnlichkeit des Produktes — von einer Gleichheit ist ja in unserem Falle ohnehin nicht die Rede — auf die Analogie des Vorgangs zu schliessen, ist offenbar übereilt, denn sonst könnten wir auch aus der Kohlensäurebildung bei der tierischen Atmung, bei Verbrennung und Verwesung, die häufig auf Kosten der nämlichen chemischen Körper erfolgen, auf die gleiche Ursächlichkeit dieser Vorgänge schliessen, während wir wissen, dass in einem Falle Organismen notwendig mitwirken. Vielmehr erscheint ein Vergleich der Essigsäurebildung aus Alkohol durch Platinmohr mit derselben durch oxydierende chemische Agentien wie Chlorsäure, Bromsäure, saures chromsaures Kali und Schwefelsäure viel passender, besonders da auch mit den letzten Agentien der Alkohol dieselben Produkte zu geben scheint wie bei der Oxydation durch Platinmohr.

übrigen günstigen Umständen befeuchtet, als Bindfaden, an dem verdünnter Alkohol langsam herunterrieselte, erwiesen sich bei Anwendung der nötigen Vorsichtsmaassregeln, um die Organismen auszuschliessen, als durchaus unfähig, Essigbildung zu bewirken. Die in Bezug auf diesen Gegenstand erhaltenen Versuchsergebnisse sind schon beinahe entscheidend*), und dieselben machen die mechanische Gärungstheorie für den Vorgang der Essigbildung ziemlich unwahrscheinlich. Folgende Versuche aber lassen dieselbe als ganz unzulässig erscheinen.

Wir gingen bei denselben von folgenden Grundgedanken aus. Wirkt der Essigkahn auf der Oberfläche sauerwerdender Flüssigkeiten nur rein mechanisch als Sauerstoffüberträger — was ja auch bei dem Zerrinnen aller brauchbaren Analogien immer noch als eine mögliche Anschauung gelten mag —, so dürfen natürlich untergeordnete Eingriffe in die Konstitution jener Hüllen, wodurch zwar die kleinen Organismen getötet werden, ihre mechanische Struktur aber annähernd intakt bleibt, voraussichtlich nicht den Essigbildungsprozess stören oder wenigstens nicht ganz unmöglich machen. Wir bewirkten die Abtötung durch Temperaturerhöhung, aber nicht durch eine unnütz gesteigerte, sondern nur durch eine, die sehr wenig über der Tötungstemperatur des Pilzes lag. Zu diesem Zweck hatten wir den letzteren Punkt durch eigene Versuche festgestellt, bei welchen die Erhitzung unmittelbar nach geschehener

*) Filtrierpapier wurde, um die Nahrungsmittel der Essigorganismen auszuschliessen, zuerst mit fünfprozentiger Salzsäure und darauf mit fünfprozentiger Natronlauge ausgekocht und mit destilliertem Wasser gründlich ausgewaschen. Es resultierte auf diese Weise eine sehr poröse Masse, die wesentlich aus Holzfaser bestand. Mit dieser Masse wurde erstens die Oberfläche einer Flüssigkeit, die aus neunprozentigem reinen Alkohol bestand, bedeckt, so dass die Flüssigkeit durch Kapillarität die Cellulose gerade feucht erhielt. Dann wurde zweitens ein grosser Glastrichter mit derselben Cellulose und Glasstücken gefüllt, damit die Berührung mit der Luft eine möglichst grosse werde, und durch diesen Trichter filtrierte während sechs Wochen neunprozentiger reiner Alkohol. — Erst nach vier Wochen war die Flüssigkeit in beiden Fällen schwach sauer, es hatte sich aber nicht Essigsäure gebildet, sondern Spuren von Milchsäure, die aus der Krystallform des Kalksalzes als solche erkannt werden konnten. — Die quantitative Bestimmung ergab in beiden Flüssigkeiten 0,1% Milchsäure. Auch die Aussaat von *Bacterium aceti* liess keine Säuerung eintreten; diese begann erst, nachdem in beiden Fällen eine mineralische ammoniakhaltige Nährlösung zugegossen worden war. — Das gleiche Resultat erhielten wir bei Wiederholung des sogenannten Bindfadenversuchs. Schon früh war die Beobachtung mitgeteilt worden (von wem zuerst, haben wir nicht finden können), dass verdünnter Alkohol, an einem Bindfaden herabfliessend, sauer werde, und auch Pasteur weist auf dieses Verhalten mehreremal hin, fügt aber hinzu, dass eine Säuerung nur eintrete, wenn die Schnur mit *Mycoderma aceti* besät sei. — Wir haben nun einige Versuche angestellt, um auch diese kritische Thatsache auf ihren wahren Wert zu prüfen. Wenn die Schnur vorher sorgfältig ausgekocht wurde und man das Lackmuspapier mittelst Glasplatten gegen die Schnur drückte, haben wir ohne vorhergehende Aussaat von *Bacterium aceti* eine Rötung des Papiers niemals wahrgenommen. — Anders dagegen, wenn die letzteren Vorsichtsmaassregeln nicht beobachtet wurden, da der Weingeist sauer reagierende Stoffe aus der Schnur auszieht. — Endlich sei hier beiläufig erwähnt, dass Ozon, entgegengesetzt den Angaben einiger Lehrbücher der Gärungschemie, den Alkohol nach einigen von uns angestellten Versuchen keineswegs zu Essigsäure oxydiert.

Aussaat vorgenommen wurde. Die Tötungstemperatur lag für die von uns gewählten Verhältnisse nahe bei 50°, also auch nahe dem Tötungspunkt des alkoholischen Hefepilzes*).

Von den entscheidenden Versuchen mögen folgende hier angeführt werden. Wir besäeten zwei schwach essigsäure alkoholische Flüssigkeiten (Nr. I Stickstoff in Form von Ammoniaksalz**), Nr. II in Form von Hefeextrakt) mit *Bacterium aceti* und beobachteten zunächst in beiden Fällen die Säurezunahme.

Den 4. Febr.	enthielt die Flüssigkeit I:	1,22 %	Essigsäure,	II:	0,98 %	Essigs.
" 7. "	" " " "	1,42 "	" "	" "	1,00 "	" "
" 10. "	" " " "	1,46 "	" "	" "	1,44 "	" "
" 12. "	" " " "	1,52 "	" "	" "	1,50 "	" "
" 17. "	" " " "	1,56 "	" "	" "	1,60 "	" "
" 21. "	" " " "	1,73 "	" "	" "	1,84 "	" "

Auf beiden Flüssigkeitsoberflächen hatte sich eine ziemlich gute und reine Mycoderma-decke gebildet. Am 21. Februar wurden die Glaskolben 20 Minuten in 50—60° heissem Wasser stehen gelassen und mit erhitzter Baumwolle verstopft. Die Erhitzung war so vorsichtig geschehen, dass die Decke *vollständig unversehrt* auf der

*) Zu diesen Versuchen nahmen wir eine Flüssigkeit, welche in rapider Säuerung begriffen war, füllten acht Kölbchen zur Hälfte damit an und erhitzen dieselben immer um 5° fortschreitend von 40—75° C. Zur Kontrolle stellten wir zwei Kölbchen unerhitzt neben die andern in den auf 25—30° erhaltenen Wärmekasten. Schon nach drei Tagen hatte sich auf der nicht erhitzten und den bis 45° erhitzten Flüssigkeiten eine reichliche Haut gebildet, während dieselbe bei den anderen höher erhitzten ganz ausblieb. Der Vorsicht halber bestimmten wir aber ausserdem nach vierzehn Tagen den Säuregehalt aller zehn Kölbchen, wodurch sich herausstellte, dass, wo sich keine Decke gebildet hatte, auch keine weitere Säuerung eingetreten war.

	den 4. März	den 19. März
I (nicht erhitzt)	3,70 %	5,46 % Essigsäure
II (nicht erhitzt)	3,70 "	5,50 "
III (bei 75°) herausgenommen	3,70 "	3,72 "
IV (bei 70°)	3,70 "	3,72 "
V (bei 65°)	3,70 "	3,70 "
VI (bei 60°)	3,70 "	3,70 "
VII (bei 55°)	3,70 "	3,70 "
VIII (bei 50°)	3,70 "	3,70 "

	ursprünglich	14 Tage später
IX (bei 45°)	4,84 "	6,54 "
X (bei 40°)	4,84 "	6,32 "

IX u. X gehören einer andern später angestellten Versuchsreihe an, daher rührt der schon anfänglich grössere Säuregehalt. — Auf der Möglichkeit, die Essigbildung durch Tötung des organisierten Fermentes mittelst verhältnismässig nicht sehr hoch liegender Temperaturen zu unterbrechen, beruht bekanntlich die Bekämpfung dieser Weinkrankheit durch das Pasteurisieren. Da andere Weinkrankheiten auf analogen Ursachen beruhen, können dieselben auch auf dieselbe Weise bekämpft werden.

**) Über Ernährung des Essigorganismus siehe weiter unten. Aus diesen Versuchen ist schon die Inferiorität des NH₃-Salzes gegenüber stickstoffhaltiger organischer Nahrung zu ersehen.

Oberfläche der Flüssigkeit geblieben war. Trotzdem war keine weitere Säuerung eingetreten. Die Flüssigkeit I enthielt am 5. März: 1,8 %; II 1,86 % Säure*). Nach dieser Bestimmung wurde die erhitzte Baumwolle durch nicht erhitzte ersetzt, und schon nach einigen Tagen, den 12. März, erhielt I 1,94, II 2,08 % Säure. Es waren also durch die Baumwolle lebensfähige Sporen in die Flüssigkeit gelangt, welche die weitere Säuerung, wenn auch langsam, veranlassten.

Weiter besäeten wir eine alkoholische Flüssigkeit von grösserem Essigsäuregehalt mit Essigbakterien und liessen sich auch hier eine Haut bilden.

Den 6. März enthielt die Flüssigkeit 3,7 % Essigsäure

"	11.	"	"	"	"	4,4	"	"
"	16.	"	"	"	"	5,5	"	"

Darauf erhitzten wir auch diese Mischung durch Einsetzen in heisses Wasser eine halbe Stunde lang auf 60–70° und bestimmten den 24. März den Säuregehalt derselben. Wir fanden wieder 5,5 % Essigsäure. Der Säuregehalt hatte also gar nicht zugenommen. Eine mikroskopische Untersuchung der Haut liess dieselbe vor und nach der Erhitzung nicht merkbar verändert erscheinen.

Die Folgerungen, die aus diesen Resultaten zu ziehen sind, liegen auf der Hand. Wenn in ihrer physikalischen Beschaffenheit kaum veränderte Kahlhäute sofort nach der Abtötung des Organismus die Fähigkeit verlieren, die Essiggärung zu bewirken, dann kann doch nicht wohl mit irgend einer absehbaren Berechtigung eine Theorie der rein mechanischen Übertragung des Sauerstoffes aufrecht erhalten werden. Zu sagen, dass ein Vorgang, den unabänderlich in dieser Weise nur lebende Organismen vollziehen, ein physiologischer Vorgang sei, erscheint doch als die naturgemässeste induktive Schlussfolgerung von der Welt**). Dazu kommt die Erfahrung, dass Kahlhäute von andern Organismen gebildet, aber von physikalisch durchaus ähnlicher Beschaffenheit***), in ganz abweichender Weise die Sauerstoffübertragung bewirken, was physiologisch genommen nicht als eine auffallende Thatsache gelten kann. — Kurz, ich stehe nicht an, die Auffassung *der Essiggärung als wesentlich identisch* †) mit dem Gesamtstoffwechsel jener kleinen Organismen als die natürlichste zu bezeichnen.

Wir sehen also, dass die Frage nach der Ursächlichkeit der Essiggärung auf demselben Punkte angekommen ist wie die gleiche Frage in Bezug auf die alko-

*) Die sehr geringe Säurezunahme kann man, wie aus allen analogen Versuchen hervorgeht, ruhig der Verdampfung von Wasser und Alkohol zuschreiben.

**) Ich muss hier die Bemerkung machen, dass auch Pasteur ausschliesslich lebender *Mycoderma* die Fähigkeit die Sauerstoffübertragung zu bewirken zuschreibt. Allein er hat weder genau unsere Belege hierfür beigebracht, noch entfernt unsere Schlussfolgerung gezogen. Die Hauptsache ist ja aber nicht die Prioritätsfrage, sondern die Konstatierung der Thatsache, dass nunmehr die rein physiologische Auffassung der Essiggärung in der Wissenschaft die herrschende geworden ist. Herzen suchte allerdings später (vgl. Compt. rend. société biolog., 41, p. 140) die Nichtzusammengehörigkeit der Säuerung und Bakterienentwicklung zu beweisen, jedoch mit Gründen, die wenig Anklang gefunden zu haben scheinen.

***) *Saccharomyces Mycoderma* siehe weiter unten p. 192 und auch 10. Vorlesung, p. 163.

†) Nur wesentlich identisch, weil sekundäre chemische Reaktionen zwischen den Stoffwechselprodukten als möglich erscheinen.

holische Gärung. Wie diese als Typus erscheint für eine ohne Zutritt von Sauerstoff erfolgende Gärung, durch niedrige Organismen veranlasst, so kann jene als ein solcher gelten für eine Oxydationsgärung durch etwas anders geartete sauerstoffbedürftige kleine Lebewesen.

In Bezug auf die nun sich weiter anreihende Frage nach der botanischen Natur des *Bacterium aceti* kann ich sehr kurz in meinen Mitteilungen sein, da unsere Kenntnisse in dieser Richtung trotz neueren und verdienstvollen Arbeiten noch nicht abgeschlossen sind.

Durch diese Untersuchungen hat sich aber bestätigt, was früher nach Analogie der alkoholischen Gärung vorauszuahnen war, dass wir es mit einer ganzen Reihe von essigsäureerzeugenden Formen zu thun haben.

Jedenfalls sind aber die Formen, welche gewöhnlich in zusammenhängenden Häuten auf der Oberfläche sauer werdender Flüssigkeiten angetroffen werden, sehr klein, die einzelne Zelle gewöhnlich etwa 1,5—3 Mic.*) lang, so dass sie nur mit Hilfe sehr stark vergrößernder Instrumente deutlich in ihrer Gestalt erkannt werden können. Sie hängen in Ketten, oder, wenn die Teilung der einzelnen Glieder noch

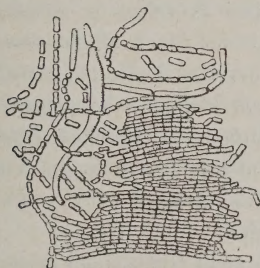


Fig. 15. *Bacterium aceti* nach Hansen.
Vergrößerung 1000fach.

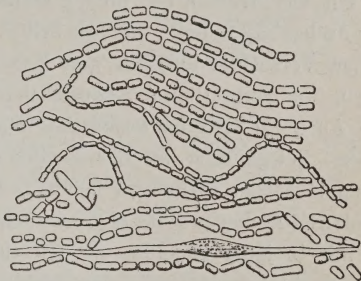


Fig. 16. *Bacterium Pasteurianum* nach Hansen.
Vergrößerung 1000fach.

nicht bis zu einer sichtbaren Abtrennung gediehen ist, in Form gekrümmter Stäbchen aneinander, wodurch zugleich die Art ihrer Vermehrung erhellt. Diese erfolgt durch Querteilung einer in die Länge gewachsenen Zelle, wie auch durch direkte Beobachtung festgestellt werden kann. Durch die sorgfältigen Studien von Hansen ist es später geglückt, unter den Essigorganismen mehrere (wenigstens zwei) verschiedene Arten zu unterscheiden, von denen er eine nach Pasteur *Mycoderma Pasteurianum* benannte. Durch Zopf wurde der Genusnamen *Mycoderma* durch den passenderen *Bacterium* ersetzt. Hansen entdeckte dann noch eine dritte Art, die durch ihn als *Bacterium Kützingerianum* bezeichnet wurde**). Fig. 15 und 16 geben eine gute Vorstellung von dem Aussehen dieser kleinen Formen unter dem Mikroskope.

Es unterliegt nach allem dem über Form und Vermehrungsweise Mitgeteilten keinem Zweifel, dass die früher sogenannte *Mycoderma aceti* den Bakterien ange-

*) Mic. = Mikromillimeter = 0,001 mm.

**) Vgl. Meddeleiser etc., III, p. 290. Dort sind auch die genaueren Beschreibungen der Arten nachzusehen, sowie die Bildung langer Fäden mit unregelmässigen Anschwellungen. Die verschiedenen Spezies sind auch insofern verschieden, als die einen mit Jod sich blau färben, die andern nicht (ebenda, I, p. 275).

hört und nicht der Gruppe der Pilze, also auch keine Verwandte der Hefepilze ist; daher denn auch später der Genusnamen *Bacterium* passender gefunden wurde.

Auch die gelegentlichen Beobachtungen über eigentümliche Bewegungen unserer niederen Form im Zusammenhang mit einer rasch verlaufenden Säuerung, und dass unter diesen Umständen die Stäbchen rasch zerfallen, während dieselben sonst einen länger dauernden Bestand haben*), sprechen für die Einordnung in die nämliche Organismengruppe.

Das Entstehen jener gelegentlich schon erwähnten schleimartigen Masse, welche im gewöhnlichen Leben als Essigmutter bezeichnet wird, aus den feinen Bakterien-schleiern wird einer Schleimabsonderung seitens der Zellen zugeschrieben, welche unter bestimmten Ernährungsverhältnissen auftritt und auch bei vielen anderen Bakterien**) und Pilzen wahrgenommen worden ist, und durch welche die benachbarten Zellen gleichsam miteinander verkittet werden.

Was dann die Ernährung der Essigbakterien betrifft, so können wir uns hier in den Grundzügen auf das berufen, was wir für die Hefepilze anzuführen hatten, nur dass die Beobachtungen hier noch nicht so sehr ins Detail gehen. Ausser Alkohol, der mit viel Wasser (+ 90 %) verdünnt sein muss, sind auch hier stickstoffhaltige und Aschenbestandteile unentbehrlich. Die eigentlichen Proteinstoffe scheinen nach meinen Versuchen indessen weit besser zu wirken als bei jenen alkoholerzeugenden Pilzen, was vermutlich der peptonisierenden Wirkung der Essigbakterien zuzuschreiben ist. Auch für Essigbakterien hat Pasteur das schon erwähnte Vermögen nachgewiesen, gelegentlich an der Stelle von stickstoffhaltigen organischen Stoffen mit Ammoniaksalzen vorlieb zu nehmen, aber auch hier nicht, ohne dass die Vegetation und der Säuerungsprozess abgeschwächt erscheint. Diese Angabe ist von Knieriem und mir in jeder Richtung als korrekt befunden worden.

Die Aschenernährung der Essigbakterien ist noch nicht Gegenstand eines Detailsstudiums geworden; doch leisten die zur Ernährung der Hefepilze zweckmässig dienenden Salzgemische auch hier gute Dienste, so dass wenigstens kein Mehrbedarf in Bezug auf einen Aschenbestandteil besteht.

Was die kohlenstoffhaltige Nahrung betrifft, so kann der Alkohol, wie man gefunden hat, vielleicht auch durch die Essigsäure selbst vertreten werden. Wenigstens ist es eine sehr alte Erfahrung, dass fertiger Essig unter dem Einflusse der Luft sich wieder zu schwächen beginnt, eine Erscheinung, vor der man ihn bekanntlich durch Abkochen zu schützen versucht. Pasteur zeigte, dass diese nachträgliche Schwächung auch durch die Bakterien bewirkt wird, die, sobald sie keinen Alkohol mehr antreffen, sich auf die Essigsäure werfen, diese vollständig zu Wasser und Kohlensäure oxydierend. Doch erscheint der Fall, dass Organismen ihre eigenen Exkremente verzehren, wie die Erscheinung nach unserer Ausdrucksweise aufgefasst werden müsste, noch zu allein stehend, um nicht eine Prüfung auf die völlige Identität der hier in Betracht kommenden Organismen rätlich erscheinen zu lassen. — Einige Angaben liegen auch vor, dass unter dem Einflusse der Essigbakterien auch direkt Zucker in

*) Vgl. v. Knieriem und Adolf Mayer: Landw. Versuchsst., B. 16, p. 325.

**) Vgl. p. 197.

Essigsäure übergeführt werden kann*) — eine Beobachtung, die jedoch bei der Leichtigkeit der Täuschung mit Vorsicht aufgenommen werden muss.

Eine Eigentümlichkeit der Essigbakterien, welche namentlich bei Organismen dieser Klasse, die sonst meistens im höchsten Maasse säurefeindlich sind, ist es noch, dass sie erst freudig zu arbeiten beginnen, wenn die Flüssigkeit schon einen oder zwei Prozente Essigsäure enthält, so dass ein Säuerungsprozess, in ein gewisses Stadium gelangt, rascher und rascher fortschreitet**). Dieser Umstand ist es vermutlich auch, welcher Pasteur mit zu der Annahme brachte, dass diese Organismen gelegentlich auch Essigsäure verzehren können. Gegen plötzlichen Wechsel im Säuregehalt sind die in Rede stehenden Organismen weiter sehr empfindlich, und es scheint hierauf zu beruhen, dass die Schnellessigfabrikanten beim Uebergiessen ihres Essig-gutes eine gewisse Reihenfolge der einzelnen Essigbildner einhalten.

Die Abhängigkeit der Essigbakterien von der Wärme haben wir insoweit schon besprochen, als von der oberen Grenztemperatur ihres Bestehens die Rede war. Das Optimum ihres Wirkens liegt zwischen 18 und 35° C., also verhältnismässig hoch — eine praktisch ebenfalls sehr wichtige Thatsache. Oberhalb 35° und unterhalb 18° C. geht die Essigbildung langsam vor sich, erlischt aber nicht ganz, wie wir in vielen Weinkellern und Lagerbierkellern beobachten können, auch wenn daselbst Temperaturen von 18° C. niemals erreicht werden. 12—15° C. sollen übrigens zur ersten Entwicklung des Essigkahms immer erforderlich sein.

Über die Empfindlichkeit der Essigbakterien gegen Gift mag im allgemeinen ähnliches gelten, wie das bei den Hefepilzen Gesagte, obwohl auf eine so weit abliegende Gruppe von Organismen nur mit Vorsicht Erfahrungen zu übertragen sind. Eigene Versuche in dieser Richtung liegen nur wenige vor. Die Essigorganismen sind nach diesen sehr empfindlich gegen $\frac{1}{10\,000}$ Thymol. Dieselbe Menge Salicylsäure hat keine nachteiligen Folgen, schliesst aber fremde Organismen wirksam aus, so dass die Reinheit der Essigbildung auf diese Weise vermehrt werden kann. $\frac{1}{600}$ Alaun verhindert nicht die Entwicklung dieser Bakterien, aber wohl deren reichliche Schleimabscheidung, infolge deren sie zu Häuten aneinanderkleben***). Ferner muss auf die hohe Empfindlichkeit gegen schwefelige Säure hier im besonderen aufmerksam gemacht werden, ein Verhalten, für das bei den Oxydationsprozesse vollziehenden Organismen eine Erklärung auf der Hand liegt, und von welchem zur Bekämpfung der Weinkrankheiten die ausgedehnteste praktische Anwendung gemacht wird. Das Einbrennen der Fässer mittelst Schwefelfäden oder der in neuerer Zeit wohl geübte direkte Zusatz von schwefeliger Säure hat insbesondere den Zweck, den Essigstich der Weine, sowie die Bildung anderer Kahlmhäute auf denselben zu verhüten.

*) Z. B. Blondeau: Compt. rend., B. 57, p. 953; und oben, p. 172, Anm. *).

**) Dies ist der wahre Sachverhalt, auf den sich die ältere Ansicht von Berzelius zurückführen lässt, als ob Essigsäure selbst als Ferment für die Essiggärung diene. Zum Teil muss freilich auch die progressiv rascher fortschreitende Essigbildung durch das Verschwinden des Alkohols erklärt werden, der von einem gewissen Prozentgehalt an das Gedeihen der Essigbakterien beeinträchtigt.

***) Diese Mitteilungen auf brieflichem Wege nach Versuchen von F. Hesselink in Groningen 1891.

Ozon ist ein endgeschiedenes Bakteriengift und begünstigt daher auch nicht, wie manche Empiriker glauben, die Essiggärung*).

Soviel über die Essiggärung als Repräsentant einer Oxydationsgärung. Ähnliche Fälle der Sauerstoffübertragung durch an der Oberfläche von Flüssigkeiten, welche organische Substanzen enthalten, vegetierende Organismen aus der Gruppe der Pilze wie der Bakterien giebt es nun viele, obwohl der dabei stattfindende Chemismus in der Regel sehr unvollständig bekannt ist.

Die Essiggärung ist also nur ein praktisch wichtiges Beispiel für Oxydationsgärungen überhaupt. Durch die meisten Schimmelpilze und diejenigen hefeartigen Organismen, die als Kahmhaut auf vergorenen Flüssigkeiten aufzutreten pflegen, werden noch viel energischere Oxydationserscheinungen, welche meist mit Erzeugung von Kohlensäure und Wasser endigen, unterhalten. Aber auch das Entstehen anderer höher oxydierten, wiewohl noch nicht völlig verbrannten Produkte, die also zu ihrem Gärungssubstrate in demselben Verhältnisse stehen wie Essigsäure zu Alkohol, wurden mehrfach beobachtet, so durch *Boutroux* eine Oxydation von Glycose in die zugehörige Glyconsäure $C_6H_{12}O_7$ unter Mitwirkung von dem *Bacterium aceti* jedenfalls sehr ähnlichen Organismen.

Zwischen den typischen Oxydationsgärungen, wofür wir als Beispiel die Essigbildung gebraucht haben, und der typischen Spaltungsgärung, wofür die am ausführlichsten behandelte alkoholische Gärung ein gutes Beispiel ist, liegen nun auch noch Fälle gemischter Art, mit welchen wir bei einer späteren Gelegenheit**) noch nähere Bekanntschaft machen werden.

Aus der im vorhergehenden mitgeteilten Kenntniss von den spezifischen Lebensbedingungen der Essigbakterien lassen sich nun natürlich allerlei praktische Folgerungen für die Praxis der Essigfabrikation ziehen, ähnlich wie früher gelegentlich dergleichen praktische Winke in Bezug auf Wein- und Bierbereitung, auf Branntwein- und Hefefabrikation aus den theoretisch erörterten Bedingungen der gewöhnlichen Hefepilze ableiten liessen. Wie damals gewiesen wurde auf die Vorteile der Lüftung in alkoholischer Gärung befindlicher Massen, in allen Fällen, wo starke Hefevermehrung gewünscht war; auf die Vorteile der Handhabung niedriger Temperatur bei der Biergärung, um andere Organismen, die mehr Wärme lieben, auszuschliessen; auf die Vorteile der Reinkultur, um ungewünschte Hefesorten fern zu halten, so lassen sich natürlich auch für die Praxis der Essiggärung dergleichen Folgerungen ziehen.

Die höheren Anforderungen der Essigbakterien an Wärme zwingen in erster Linie dazu, die Essigfabrikation bei hoher Temperatur zu treiben, häufig in geheizten Stuben, während Bier- und Weingärung im kühlen Keller stattfindet. So liegt das mit Weinresten angefüllte Essigfässchen in altmodischen Haushaltungen in Württemberg hinter dem Ofen des Wohnzimmers, und gar wo es sich um sogenannte Schnellfabrikation handelt, heizt man auf dem Optimum des Prozesses nahe entsprechende Temperaturen.

Da es sich weiter in der Essigerzeugung um eine Oxydationsgärung handelt, wird Zufuhr von Luft begünstigt, nicht bloss manchmal wie bei der alkoholischen Gärung,

*) Grossmann u. Mayerhausen: *Pflüger's Arch.*, B. 15, p. 245. — **) p. 190.

um Hefevermehrung zu bewirken, sondern unausgesetzt und unter allen Umständen. Daher das halbe Füllen der Fässer bei der langsamen Orlean'schen Methode oder bei der häuslichen Essigbereitung und gar das Herabsickernlassen über poröse Massen bei den verschiedenen Modifikationen der Schnelllessigfabrikation und in allen Fällen Erzeugung eines den Sauerstoff erneuernden Luftstroms, im geraden Gegensatz zu der alkoholischen Gärung in der Periode des intensivsten Stoffumsatzes und der Nachgärung, wobei man ängstlich durch Auffüllen der durch Verdunstung sich leerenden Fässer, durch Gärspunden und Kuhnenhüter und bei Obstweinbereitung durch Beseitigung des sogenannten „Hutes“*), für Abschluss des Sauerstoffs sorgt.

Die merkwürdige, wahrscheinlich auf Gewöhnung beruhende Vorliebe der Essigbakterien für eine schon etwas essigsäure Flüssigkeit zeigt sich in der Praxis dadurch, dass man bei jeder Weise der Essigerzeugung beim Abzapfen des fertigen Produkts einen gewissen Bruchteil zum Vermischen mit neuem Essiggute gebraucht.

Auch die Erfahrungen auf dem Gebiete der eigentlichen Ernährung würden sich vermutlich noch besser als bei der Alkoholerzeugung verwerten lassen, da man häufig bei der Essigfabrikation von äusserst nährstoffarmem verdünntem Spiritus ausgeht; ebenso auch die Erfahrungen von den spezifischen Giften.

Wir machen am Schlusse der Vorlesung aus den über Essiggärung angestellten Betrachtungen folgende Folgerungen:

- 1) Die Essiggärung geht durch Oxydation des Alkohols auf Kosten des atmosphärischen Sauerstoffs vor sich. Als Oxydationsprodukt wird dabei, soweit bekannt, im wesentlichen nur Essigsäure und etwas Wasser gebildet.
- 2) Die Essiggärung geht nur bei Vorhandensein spezifischer Organismen, den Bakterien zugehörig, vor sich. Dieselben übertragen lebend und offenbar durch einen physiologischen Prozess den Sauerstoff auf den Alkohol der Flüssigkeit.
- 3) Es ist zwar möglich, auch noch auf andere Weise, durch chemische oxydierende Mittel und selbst mit Hilfe des atmosphärischen Sauerstoffs, Alkohol in Essigsäure überzuführen, aber die Bedingungen wie die Produkte dieser Vorgänge sind mehr oder weniger wesentlich von denen der Essiggärung verschieden.
- 4) Die Essiggärung lässt sich in ihrer Intensität und in ihrem Gesamtverlauf regeln durch Beobachtung der allgemeinen Lebensbedingungen und insbesondere des Nährstoffbedarfs der Essigbakterien.
- 5) Die Essigbakterien bedürfen zu ihrer Ernährung ausser verdünntem, höchstens zehnprozentigem, Alkohol noch stickstoffhaltige Stoffe und nicht näher festgestellte Aschenbestandteile.
- 6) Der Stickstoff kann gegeben werden in Form von organischen, wie es scheint, proteinartigen Stoffen, oder von Ammoniaksalzen, durch welche die Essigbakterien freilich weniger gut ernährt werden.
- 7) Vorhandensein von etwas Essigsäure begünstigt das Gedeihen der Essigbakterien.
- 8) Die Essigbakterien sterben, gegen 50° C. erhitzt, ab und gedeihen am üppigsten zwischen 18° und 35° C.

*) Die durch die Gärung aufwärts getriebene feste Masse. Vorsorgmaassregel ein siebartiger fester Deckel innerhalb der Flüssigkeit.

Zwölfte Vorlesung.

Einteilung der Gärungsorganismen. — Die wichtigsten durch solche bewirkten Umsetzungen.

In der vorigen Vorlesung sind wir zum erstenmal mit einer Spaltpilzgärung bekannt geworden. Machen wir es uns heute zur Aufgabe, das Wichtigste aufzuzählen, was über andere Gärungen, welche beinahe alle durch Spaltpilze eingeleitet werden, bekannt geworden ist. Unsere Kenntnis gerade in chemischer Hinsicht ist freilich in den letzten Decennien verhältnismässig wenig bereichert worden, da die Aufmerksamkeit in dieser Zeit mehr der botanischen (bakteriologischen) Seite zugewendet gewesen ist, und so ist es noch ein sehr lückenhaftes Material, was uns zur Verfügung steht.

Zuvor aber wird es noch zweckdienlich sein, uns eine kleine Übersicht zu verschaffen über die verschiedenen bei Gärungen mitwirkenden Lebewesen, zumal wir die einschlägige Terminologie, soweit es die Bakterien angeht, noch beinahe gar nicht berührt, doch aber in der Folge notwendig haben. Was die Benennung der kleinen Lebewesen, welche die Gärungserscheinungen bewirken, betrifft, so ist dieselbe der Natur der Sache nach noch sehr vorläufig und richtet sich einstweilen nach sehr äusserlichen Merkmalen.

Den Saccharomyceten gegenüber, die wir in ihrer äusseren Erscheinung und Entwicklung schon kennen gelernt haben und die, wie wir gesehen haben, sich gemeinlich durch Sprossung fortpflanzen und daher auch als *Sprosspilze* bezeichnet werden, stehen die Bakterien von viel kleineren Dimensionen. Bei der vegetativen Vermehrung von diesen schiebt sich in die durch Wachstum lang gereckten Zellen plötzlich eine Querscheidewand senkrecht auf die Längsachse, wodurch die lange Zelle in zwei kürzere geteilt wird. Daher man diese ganze Klasse von niedrigen Organismen auch *Spaltpilze* genannt hat.

Die weitere Verteilung dieser ist dann gewöhnlich

- in *kugelförmige* oder *Coccen*, je nach der Grösse *Makro-* oder *Mikrococcen*;
- in *kurzzylindenförmige* oder *Bakterien* im engeren Sinne des Worts;
- in *stabförmige* oder *Bazillen*;
- in *schraubenförmige* oder *Spirillen* oder *Vibrionen*, die letztere Bezeichnung, wenn die Schraube nur eine Windung zeigt. — Stäbchen sowohl als Schrauben verdanken häufig ihre langgestreckte Form dem längeren Aneinanderhaften selbständiger Zellen.

Es bleibt aber bei den Bakterien zu berücksichtigen, was wir schon früher für die Sprosspilze hervorgehoben haben, dass manchmal die kürzere oder längere Form nur eine Folge ist von abweichenden Wachstums Umständen (sog. Wuchsformen), so dass eine systematische Klassifikation auf dieser Grundlage allein nicht möglich ist*).

*) Über die Morphologie vgl. W. Zopf: Die Spaltpilze.

Diese Variabilität der Form, welche bei den Spaltpilzen in noch höherem Grade besteht wie bei den Sprosspilzen, ist die Ursache, dass selbst geübte Bakteriologen beim Determinieren derselben nicht allein die beobachtete Form zur Grundlage nehmen, sondern mit derselben allerlei Eigenschaften, welche die betreffenden Formen auf die Unterlage, z. B. Nährgelatine, ausüben, als da sind Verflüssigung derselben, Art des Wachstums der Kolonien, zu kombinieren angewiesen sind.

Aus demselben Grunde sind auch Abbildungen dieser niederen Lebeformen weniger instruktiv oder manchmal sogar gefährlich, wenigstens in Darstellungen, welche nicht auf die Details der gelegentlichen Gestaltungsveränderungen eingehen können und daher angewiesen sind, eine Form als fest anzugeben, wo diese nur einer der möglichen Fälle ist.

Eine Folge dieses Verhältnisses ist es auch, dass eine hohe Autorität auf dem Gebiete der Pflanzenphysiologie alle bei gärungsartigen Erscheinungen sich beteiligenden niederen Organismen bloss in die allgemeinen Gruppen der Schimmelpilze, der Hefepilze oder Sprosspilze und der Bakterien oder Spaltpilze einzuteilen sich begnügte.

Von jeder dieser drei Gruppen haben wir in den hinter uns liegenden Betrachtungen bereits einen Repräsentanten vor Augen gehabt. Die Mucor- oder Penicilliumpilze gehören natürlich in die erste Gruppe, die Saccharomycespilze in die Gruppe der Hefe- oder Sprosspilze, die kleine in der vorigen Vorlesung in ihrer Wirkungsweise näher betrachtete Form, welche für die gewöhnliche Essiggärung charakteristisch ist, gehört zu den Spaltpilzen.

Auch für die Spaltpilze kann weiter neben der blossen vegetativen Vermehrung eine Fruktifikation in der Form von Dauersporen unterschieden werden, zu deren Zustandekommen, soviel bekannt, ähnliche Bedingungen wie für die Fruktifikation der Sprosspilze erforderlich sind.

Wenn wir weiter nach den Lebensbedingungen der Spaltpilze fragen, so kann mehreres ganz allgemein ausgesprochen werden. Hinsichtlich der *Temperaturverhältnisse* verhalten sich die Spaltpilze ganz ähnlich wie die etwas höheren Sprosspilze, nur dass ihre Widerstandsfähigkeit eine noch schärfer ausgeprägte ist. Durch *Kälte* sind sie natürlich *nicht zu töten**), sondern nur in einen *Ruhezustand* überzuführen, welcher meist bei 0° oder noch etwas unter 0° einzutreten scheint. Dieser Ruhezustand kann also allem Anschein nach, noch mehr wie dies bei einigen Samen und bei vielen Sporen der Fall ist, eine unbegrenzte Dauer besitzen. Das Überführen in denselben ist also gleichzeitig ein *Konservieren*. *Hitze* muss natürlich von einem gewissen Punkte an *töten*. Über diesen Punkt lässt sich aber weiter nichts Allgemeines aussprechen, da es ganz und gar von der Natur der Flüssigkeit und ferner auch von dem Entwicklungsstadium der Spaltpilze abhängig ist, ob eine gewisse Temperatur tötet oder nicht. In sauren Flüssigkeiten, welche den Spaltpilzen unzuträglich sind, muss diese Abtötung natürlich bei niedrigeren Temperaturen erfolgen als in neutralen. In den letzteren scheinen wenigstens 110° C. nötig

*) Vgl. A. Frisch: Sitzungsber. d. Wien. Akad. d. Wissensch., math.-naturw. Klasse, III. Abteilung, B. 75, p. 257.

zu sein, um sicher zu gehen. Am hartnäckigsten werden sich ausgetrocknete Spaltpilze in heisser Luft verhalten. Hier wird die Vernichtung geradezu abhängig sein von der erfolgenden Zersetzung der die Pilze zusammensetzenden Substanzen und häufig ein Minimum von 130° erforderlich sein. Manche Spaltpilze (und darunter pathogene Formen) werden freilich schon durch das blosse Eintrocknen getötet. — Von der wirklichen Tötung durch hohe Temperatur ist bei der vegetativen Form natürlich wieder zu unterscheiden die blosse vorübergehende Einstellung der Lebenserscheinungen.

Eine besondere Aufmerksamkeit verdient dann die Abhängigkeit der Spaltpilze von einer *sauren oder alkalischen Beschaffenheit der Versuchsflüssigkeit*. Manche dieser Organismen können zwar ganz gut auf sauren Flüssigkeiten gedeihen, aber sie bevorzugen doch in der Regel eine neutrale oder ganz schwach alkalische Beschaffenheit bei weitem. Auch die Hefepilze zeigen ähnliche Bedürfnisse, aber doch lange nicht in demselben Grade, während die Schimmelpilze saure Flüssigkeiten beinahe vorzuziehen scheinen. Daraus ergibt sich mit Hilfe des Gesetzes vom Kampfe ums Dasein, dass bei gleichzeitiger Anwesenheit von Sprosspilzen, Hefe und Schimmelsporen unter Umständen in einer stark sauren Flüssigkeit — Verwesung durch Schimmel, in einer weniger sauren — Gärung, in einer neutralen — Fäulnis eintreten muss.

Der praktischen Folgerungen aus dieser einfachen Gesetzmässigkeit sind unzählige: Hervorrufen der Milchsäuregärung durch Beifügen von kohlensaurem Kalk, Zühewerden (durch Spaltpilze) besonders bei säurearmen Hefeweinen, Aufeinanderfolge der Verschimmelung, Gärung und Fäulnis bei Früchten, während gleichzeitig die freie Säure verzehrt wird. Auch für die Bierbrauerei und Branntweinbrennerei wird die Beherrschung dieses Satzes viele Vorteile bringen. Die Bedeutung der Milchsäure in der Maische ist aus diesem Gesichtspunkte zu begreifen, wenn auch dadurch nicht verhindert wird, dass diese Methode jetzt einer besseren, schon früher ange deuteten (Zusatz von Fluoriden), weichen muss.

Bemerkenswert ist auch das Verhalten der Spaltpilze gegen *Feuchtigkeitsverhältnisse*. Wegen ihrer winzigen Kleinheit und (relativ zur Masse) grossen Oberfläche müssen die Spaltpilze natürlich in einer nicht mit Wasserdampf gesättigten Luft rasch austrocknen, daher auf halbtrockenen Substraten ihnen die Schimmelpilze erfolgreich Konkurrenz machen, während das eigentliche Feld ihrer Thätigkeit in den zersetzungsfähigen Flüssigkeiten selber liegt. Diese Austrocknung ist nun freilich in den meisten Fällen kein Absterben, sondern nur ein zeitweiliges Erlöschen der positiven Lebenserscheinungen — also im eigentlichen Sinne ein *Konservieren*, da alles thätige Leben mit der Zeit sich selbst vernichtet. Gerade die Verbreitung der meisten Spaltpilze beruht auf dieser Austrocknung, und in dieser Form werden sie noch kleiner als die sichtbaren Sonnenstäubchen und durch die kleinste Luftbewegung in Schwebung erhalten, nach neuen Plätzen ihrer Thätigkeit fortgeführt. Dies Verhalten hat zumal für die Lehre der Infektionskrankheiten seine grosse Bedeutung.

Gegen *Gifte* sind die Spaltpilze natürlich wie gegen alle anderen Einflüsse besonders unempfindlich. Selbst die stärksten Desinfektionsmittel der aromatischen Chemie, wie Karbolsäure, verhalten sich kaum anders wie andere schlechte Nahrungsmittel im Überflusse zugegeben. Durch ihre Anwendung erlischt wohl anscheinend

das Leben; aber darum tritt der Tod der Spaltpilze noch nicht gleich ein. Vielmehr haben wir es auch in diesem Falle häufig mit einer Art von Konservierung zu thun — eine Thatsache, mit welcher natürlich bei Verwendung von Desinfektionsmitteln wohl zu rechnen ist. Selbst durch absoluten Alkohol werden die Bakterien häufig nur konserviert. Tödlich wirken wohl erst starke mineralische Gifte, dieselben, welche wir *Saccharomyces* gegenüber in den Vordergrund zu stellen pflegen (z. B. Quecksilbersublimat). Schwefelkohlenstoff und die Salze, welche dieses Gas zu entwickeln vermögen (schwefelkohlensäure Salze), wirken auch schon in kleinen Mengen höchst schädlich auf alle niedrigen Organismen. Daher werden derartige Flüssigkeiten sehr allgemein als Konservierungsmittel empfohlen. Einprozentige Lösungen von chromsaurem Kali sind neuerdings auch als vielfach verwendbare Konservierungsflüssigkeiten, z. B. von Milch für analytische Zwecke empfohlen worden*).

Vernichtet werden die Spaltpilze noch, analog dem Verhalten anderer Organismen, durch *andauernd schlechte Ernährung* bei sonstigen günstigen Vegetationsverhältnissen; z. B. in reinem Wasser gehen sie um so rascher zu Grunde, je günstiger die Temperaturverhältnisse im übrigen sind. Ferner — und dies lässt sich auf den gleichen Gesichtspunkt zurückführen — leiden sie durch die mächtigere Konkurrenz anderer Zellen, denen die umgebenden Verhältnisse besser konvenieren, durch Mycelien in sauren Lösungen und bei relativer Trockenheit, durch Hefepilze in schwach sauren Lösungen, sowie durch sehr lebenskräftige tierische Zellen. So gehen z. B. die sog. Infektionsstoffe, welche ja auch Spaltpilze sind, in den Leibern der Tiere in der Rekonescenz zu Grunde. Wo also zu der Vernichtung schädlicher Spaltpilze sehr hohe Temperatur oder starke mineralische Gifte nicht angewendet werden können, da empfiehlt es sich meistens, sie unter ungünstigen Lebensbedingungen *zum Leben zu zwingen*, weil das Leben selber das Leben am sichersten vernichtet. — Ein Übermaass von *Kohlensäure* in der Nährflüssigkeit ist dagegen meist ohne schädliche Wirkung auf Leben und Thätigkeit der Spaltpilze.

Von der weiteren Anwendung dieser Thatsache auf die Bekämpfung ansteckender Krankheiten sehen wir hier natürlich ab. Aber so viel sei aus dem Studium der Lebensbedingungen dieser niedrigsten Organismen noch mitgeteilt, dass die Übertragung der Bakterien auf neue Substrate nur durch direkte Berührung oder durch die Luft nach Austrocknung und Verstaubung infektierter Massen stattfinden zu können scheint. Dagegen werden aus faulenden Massen nicht einfach an die Luft Bakterienkeime mitgeteilt, ganz ähnlich, wie auch bei der Verdampfung von Salzlösungen keine Salz-moleküle an die Luft übergehen, es sei denn, dass die Flüssigkeiten in einer schäumen-den Bewegung begriffen seien. Zu einigermaassen festen Ansichten ist man in dieser Richtung erst durch die einschlagenden Untersuchungen Nägeli's, sowie durch den verwandten Versuch Frankland's**) gelangt. Richtige Vorstellungen über diese

*) Das Verhalten einer ganzen Reihe von Antiseptica gegen verschiedene Arten von Bakterien und Schimmelpilze ist durch mehrere Doktorierende zu Dorpat zum Gegenstand von Inaugural-Dissertationen gewählt worden. W. Werncke 1879. Vgl. N. J. de la Croix 1880, Th. Haberkorn 1879, Br. Wenckiewicz 1880.

**) Proceedings of the Royal Society, Vol. 25, Nr. 178, p. 542.

Dinge sind aber nicht bloss für die Lehre von den Ansteckungen, sondern auch für die Gärungsgewerbe von einiger Wichtigkeit, weil hierdurch unter gewissen Umständen Mittel an die Hand gegeben werden, Übertragungen von Milchsäure- und Essiggärungen am ungehörigen Platze zu vermeiden.

Sehen wir weiter zu, was über andere wichtigere Gärungserscheinungen, die, wie gesagt, meistens durch Bakterien eingeleitet werden, ausgesagt werden kann.

Einer eingehenderen Betrachtung wollen wir im folgenden der *Milchsäuregärung* zuwenden, einem Umsatze, der unter dem Einflusse von bestimmten Bakterienarten stattfindet, sich auf zuckerhaltige Flüssigkeiten erstreckt und aus denselben



die sog. Gärungsmilchsäure CHOH erzeugt*).



Die Milchsäuregärung ist verschiedener Umstände wegen von hervorragend wissenschaftlichem Interesse, einmal aus einem theoretischen Gesichtspunkte, insofern die Umsetzungsgleichung bei derselben von so eigentümlicher Natur erscheint, dass sie sich als eine Ausnahme von der Regel darstellt; zum anderen, weil verschiedene praktische Berufszweige, besonders die der landwirtschaftlichen Technik, mit ihr zu thun haben und darum in ihrer Vervollkommnung von der Kenntnis derselben abhängig sind.

Die Milchsäuregärung wird absichtlich eingeleitet in dem süßen Rahm vor dessen Behandlung im Butterfasse, weil aus ganz süßem Rahm die Butter sich schwieriger abscheidet und auch einen weniger kräftigen Geschmack besitzt. Es ist aber nicht immer ganz leicht, abgesehen von den neuen Beobachtungen über Abhängigkeit des Geschmackes von spezifischen Bakterienarten, die Gärung so zu leiten, dass sie nicht zu weit oder weit genug geht, und noch schwieriger, der Gärung ihren richtigen Charakter zu wahren.

Die Sauerfutterbereitung (mit Einschluss derartiger Methoden auf dem Gebiete der menschlichen Ernährung, Sauerkraut, gesäuerte Bohnen u. dergl.) beruht ebenso auf der absichtlichen Herbeiführung einer mässigen Gärung, welche in allen Fällen der Hauptsache nach Milchsäuregärung zu sein scheint. Auch hierbei giebt es noch eine Reihe von offenen Fragen.

Ferner werden in Belgien durch sogenannte spontane Gärung Biere erzeugt mit einem sehr beträchtlichen Gehalt an freier Milchsäure, offenbar dadurch, dass unter den dabei herrschenden Umständen die Milchsäuregärung neben der alkoholischen herläuft. — Auch die nach der obergärigen Braumethode mit Hilfe von Bierhefe hergestellten holländischen Gerstenbiere sind, obwohl in viel schwächerem Grade, milchsäurehaltig. Beide Biersorten zeichnen sich, gegenüber dem beinahe neutral reagierenden bayerischen Biere, durch eine sehr viel geringere Zugänglichkeit für Verderb aus, zumal auch durch eine geringere Geneigtheit, um der Essiggärung, oder aufs neue der Milchsäuregärung anheim zu fallen — wiederum also ein Gegen-

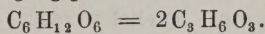
*) In anderen Fällen entsteht auch Fleischmilchsäure, vgl. Ber. d. deutsch. chem. Gesellsch., 7, 336, und vielleicht auch Äthylmilchsäure.

stand von erheblichem praktischen Interesse, und der vermutlich seine Lösung finden muss in dem in der Wissenschaft bereits bekannten Widerstande, den saure Flüssigkeiten den meisten Bakterienkulturen leisten.

In der Maische der Brennereien läuft gewöhnlich eine schwache Milchsäuregärung neben der alkoholischen Gärung her, resp. geht derselben voraus. Lange Zeit hat man, ausgehend von dem Gesichtspunkte, dass die erstere der letzteren Schaden thue, vergebens getrachtet, jene auszumerzen, um nachher einzusehen, dass die erstere für die Lösung oder besser Peptonisierung*) der Eiweisskörper und damit für eine gleichmässige Ernährung der alkoholischen Hefe gute Dienste leiste und dann namentlich, dass durch die infolge der Gärung erlangte saure Reaktion ein weiteres unkontrollierbares Eingreifen von andern Bakteriengärungen verhindert oder eingeschränkt werde, neben welchen Wirkungen der unvermeidliche Stoffverlust kaum in Betracht komme. Erst in neuester Zeit scheint die Beseitigung dieses lange für notwendig gehaltenen Übels durch die heute schon erwähnte Anwendung von Fluoriden gelungen.

Endlich ist die Milchsäuregärung im Magen von Erwachsenen und noch mehr von Kindern auch eine Krankheit, und zwar eine solche, die früher symptomatisch bekämpft wurde mit den neutralisierenden basischen Stoffen, Magnesia, kohlensaurem Kalk und doppeltkohlensaurem Natron. Seit man näher mit der Natur der Erscheinung bekannt ist und die Empfindlichkeit der Bakterien gegen Säuren, ihre Vorliebe für neutrale und schwach alkalische Flüssigkeiten kennen lernte, ist hierin eine grosse Veränderung gekommen. Man treibt den Teufel durch Beelzebub aus und giebt in den angesäuerten Magen noch Salzsäure in verdünnter Lösung.

Aus diesen praktischen Gründen ist die genaue Kenntnis der Milchsäuregärung eine wichtige Sache**). Aber auch theoretisch ist sie, wie schon angedeutet, ein wichtiger Gegenstand. Gewöhnlich wird die Milchsäuregärung als chemische Umsetzung so gedacht, dass aus einem Molekül Glycose zwei Moleküle Milchsäure entstehen sollen, also einfach als Spaltung eines grösseren Moleküls in zwei kleinere; nimmt man Dextrose zum Ausgangspunkt:



Eine solche Vorstellung widerspricht aber den Erfahrungen, welche bisher bei allen genauer studierten Gärungsgleichungen gemacht worden sind. Bei einer jeden andern Gärung wird, unserem bisherigen Wissen nach, entweder Kohlensäure abgespalten oder Sauerstoff aufgenommen, beides in solchen Verhältnissen, dass bei der Gärungsgleichung der Erscheinung Rechnung getragen werden muss.

Sowie ich in der folgenden Vorlesung des näheren auszuführen haben werde, lässt sich diese Regel, die sich wegen der vielfachen Bestätigung, die sie erfahren, schon zu einer Art Naturgesetz der Gärungen zu erheben scheint, auch so ausdrücken,

*) Vgl. Schulte im Hofe: Zeitschrift für das gesamte Brauwesen, 1889, Nr. 16.

**) Endlich wäre auch hier die Milchsäuregärung des Traubenmostes, in manchen Gegenden unter dem Namen „Zickendwerden“, in Frankreich unter dem Namen „la pousse“ bekannt, welche namentlich eintritt, wenn die Trauben durch Berührung mit kalkhaltigem Schlamme entsäuert werden (vgl. E. Mach u. K. Portele, Landw. Versuchsst., 37, p. 305), zu erwähnen. — Auch an Milchsäurebildung in verdünnten Zuckersäften, bei der Zuckerfabrikation in Frankreich beobachtet und seiner Zeit durch Dubrunfaut beschrieben, wäre zu erinnern.

dass man sagt, bei einer jeden Gärung müsse die Anzahl der Bindungseinheiten zwischen Kohlenstoff und Sauerstoff in einem gewissen Grade vermehrt werden. Nun wird allerdings auch bei der Milchsäuregärung nach dem alten Schema die Anzahl dieser Bindungseinheiten vermehrt, nämlich, wenn wir die am genauesten gekannte Konstitution der Dextrose, die ja auch der Milchsäuregärung fähig ist, zu Grunde legen, von 7 (5 alkoholische Hydroxylgruppen und die doppelte Bindung einer Aldehydgruppe) in 8 (zwei Moleküle Milchsäure mit je einer Carboxylgruppe, in welcher ja eine Hydroxylgruppe und ein doppelt gebundenes Sauerstoffatom vorkommt, und mit je einer alkoholischen Hydroxylgruppe). Aber dieser kleine Gewinn ist eben unserer sonstigen Erfahrung gemäss ungenügend, eine so grosse Umwälzung eines Moleküls von 24 Atomen zu bewerkstelligen. Das nähere Studium des Chemismus der Milchsäuregärung dürfte berufen sein, Entscheidung in diesen theoretisch-physiologischen Fragen zu bringen.

Aus den soeben dargelegten Gründen hat die Milchsäuregärung eingehendere Behandlung gefunden als die meisten der übrigen durch Spaltpilze eingeleiteten Umsetzungen, und wir sind verpflichtet, von einem Teile der dabei erlangten Resultate Notiz zu nehmen. In Bezug auf das Sauerstoffbedürfnis der Milchsäurebakterien kann durch die einschlagenden Versuche*) als ausgemacht gelten, dass zwar eine gewisse Milchsäurebildung unter dem Einflusse dieser Organismen möglich ist ohne Anwesenheit von Sauerstoff, dass aber andererseits die Anwesenheit dieses Elementes in freiem Zustande die fragliche Gärung ganz entschieden begünstigt. In der letzteren Beziehung hat sich also ergeben: *der positive Einfluss des Sauerstoffs auf die Milchsäuregärung*, zwar nicht in dem Sinne, dass diese Gärung wie Essiggärung unter den Oxydationsgärungen rangierte und der freie Sauerstoff eine Rolle spielte in der Gärungsgleichung, sondern in dem mehr allgemeinen Sinne, wie auf die lange Dauer ein solcher Einfluss auch zu konstatieren ist bei der alkoholischen Gärung, dass nämlich der Sauerstoff den Organismus kräftigt zu seiner im übrigen anaëroben Thätigkeit. Daher kann durch starkes Pressen aus gärenden Futterstoffen sogenannte süsse Ensilage (in Wahrheit schwachsaure) bereitet werden. Starkes Pressen bewirkt nämlich Austreiben der Luft.

Aber doch liegt der Fall etwas anders wie bei jener beststudierten Gärung. Der günstige Einfluss des Sauerstoffs ist bei den Milchsäureorganismen vielmehr unmittelbar, nicht bloss zur Vermehrung anregend und so mittelbar auch die Gärung begünstigend wie bei den Saccharomyceszellen, deren Gärthätigkeit im übrigen geschwächt wird durch die Anwesenheit des fraglichen Elementes.

Ein weiteres Resultat der einschlagenden Versuche ist gewesen, dass aus 100 Teilen umgesetzten Milchzuckers nur etwa 83 % Milchsäure, ausserdem eine kleine Menge Essigsäure (etwa $\frac{1}{3}$ %) gebildet wird. Der Rest konnte aber bisher noch nicht identifiziert werden.

*) Vgl. Adolf Mayer: Zeitschr. f. Spiritusindustrie, 1891. Die Optimumtemperatur der Milchsäuregärung liegt zwischen 30° und 40°, und weiter hat sich ergeben, dass als Neutralisationsmittel für die Säure kohlensaurer Kalk der kohlensauren Magnesia und dem Zinkoxyd vorzuziehen ist.

Hieraus scheint sich wenigstens zu ergeben, dass die alte Milchsäuregärungsgleichung unrichtig ist und dass ein erheblicher Teil des Zuckers auf andere Weise verschwindet, und dadurch ergibt sich zugleich die Möglichkeit, wenn auch nicht die Sicherheit, dass auch die Milchsäuregärung sich jenem vorhin angedeuteten allgemeinen Gärungsgesetz unterordnen wird. Weitere Aufklärung der Sachlage, am besten mit Reinkulturen, bleibt sehr erwünscht.

Die besondere Empfindlichkeit der Milchsäurebakterien gegen freie Säure ist schon lange bekannt und macht es nötig, verlangt man eine kräftige Gärung, für ein zweckmässiges Neutralisationsmittel für die entstehende Milchsäure zu sorgen.

Um das nähere Studium der die Milchsäuregärung bewirkenden Organismen hat sich namentlich F. Hueppe verdienstlich gemacht. Derselbe unterschied neben den die sogenannte spontane Milchsäuerung bewirkenden Bakterien, welche gewöhnlich in der Bazillenform auftreten und bei der Gärung auch etwas Kohlensäure entwickeln, auch aus dem menschlichen Speichel isolierte Mikroccoen, denen die letztere Eigenschaft nicht zukommt. Der erstere Organismus ist nach diesen Untersuchungen schon von der Anwesenheit von Sauerstoff in seinen gärungserregenden Eigenschaften abhängig. Auch andere z. B. pigmentbildende und pathogene Bakterien haben nach Hueppe die Eigenschaft, Milchsäure zu erzeugen. Hieraus ergibt sich, dass es eine ganze Reihe von Milchsäureorganismen giebt, und dass sich aus diesem Umstande noch die mancherlei Widersprüche erklären lassen werden, die in Bezug auf ihre Lebensbedingungen in der Litteratur noch gefunden werden*).

Interessant ist weiter besonders der von Hueppe sehr wahrscheinlich gemachte Thatbestand, dass der *Kefir*, ein durch die mohammedanische Bevölkerung des Kaukasus aus Milch bereitetes alkoholisches Getränk**), welches auch — ähnlich wie früher der Kumys der Kirgisen — gegenwärtig in Europa zu Heilzwecken gebraucht wird, durch die Symbiose dreier Organismen zu stande käme, nämlich durch Milchsäurebazillen, welche ausser Milchsäure das Enzym produzieren, um Milchzucker zu invertieren, durch gewöhnliche alkoholische Hefe, welche die so erzeugten Glycosen weiter vergäre, und endlich durch einen zweiten peptonisierenden Bacillus, der *Dispora Caucasica* genannt worden ist.

Es ist endlich von einem gewissen Interesse für das Verständnis der Milchsäuregärung, dass es Hoppe-Seyler gelungen ist, Milchsäure durch Kochen von Zucker mit Kalilauge zu erzeugen***).

Wie Bakterien Oxydationsgärungen (Essiggärung) und Spaltungsgärungen (Milchsäuregärung) unterhalten können, so ist dies auch mit den verschiedenen Gliedern der gärungsbewirkenden Pilze der Fall. Wir haben früher gesehen, dass die meisten

*) Abbildungen haben unter diesen Umständen keinen Sinn. Nur die Bemerkung, dass die Untersuchung des Autors mit einem Bazillen, der hohen Temperaturen Widerstand leistete, angestellt worden ist.

**) Hueppe sagt von demselben, dass die Bevölkerung durch die Bereitung desselben das Verbot der geistigen Getränke durch den Propheten in geschickter Weise zu umgehen gewusst habe und „noch obendrein in einer Anwendung von Humor“ die Kefirhefe Hirse des Propheten zu nennen pflege.

***) Berl. Ber., IV, p. 347.

Saccharomycesarten den Spaltungsvorgang der alkoholischen Gärung vollziehen. Eine Art jedoch, von der wir gelegentlich schon mehrfach gesprochen haben, *Saccharomyces Mycoderma**), früher als *Mycoderma vini* oder *cerevisiae* bezeichnet, bildet sich wie die Essigbakterien in Häuten an der Oberfläche der Flüssigkeiten aus und vollzieht wie jene einen Oxydationsprozess**). Dass diese Form trotz ihrer abweichenden physiologischen Bedeutung zu der Gruppe der *Saccharomyces* gestellt wird, erklärt sich aus der Beobachtung ihrer Fruktifikation durch de Seynes***) und unabhängig von diesem auch durch Reess.

Saccharomyces Mycoderma wird gewöhnlich auf vergorenen, also alkoholischen Flüssigkeiten in dichten, bei üppigem Gedeihen, faltenwerfenden Überzügen angetroffen und kann schon durch das blosse Auge von den in ähnlicher Weise, aber als dünne Schleier auftretenden Essigbakterien unterschieden werden. Diese *Saccharomyces*art lebt auch vorzugsweise auf Kosten von Alkohol, diesen grossenteils vollständig zu Kohlensäure und Wasser unter gleichzeitiger Erzeugung von kleineren Mengen von Essigsäure und anderen Nebenprodukten oxydierend. Sie bedingt auf diese Weise das „Schalwerden“ des Weins. Derselbe wird durch den Alkoholverlust schwächer, zugleich etwas sauer und leidet auch einige schwer definierbare Veränderungen in seinem Bestand an feineren Geschmackstoffen.

Saccharomyces Mycoderma, populär als Weinkahm†) oder mit einem ähnlichen Namen bezeichnet, gedeiht aber nachgewiesenermaassen noch auf Kosten einer grösseren Anzahl von organischen Substanzen, unter anderem auch von Produkten der alkoholischen Gärung, Bernsteinsäure und Glycerin, in denselben wenig studierte Stoffumsetzungen veranlassend††). Interessant dabei ist, dass sich seine Form bis zu einem gewissen Grade diesen verschiedenen Ernährungsbedingungen anpasst, namentlich länger oder kürzer wird, ohne dass übrigens die resultierenden Formen ihrer Herkunft nach zu verkennen wären. Es sind auf diese Weise z. T. auch die deutlichen Verschiedenheiten in den mitzuteilenden Abbildungen des fraglichen Organismus zu erklären. Vgl. Fig. 17.



Fig. 17. *Saccharomyces Mycoderma*.

Der Einschluss von fettglänzenden Tröpfchen im protoplasmaarmen Zellinhalt scheint für diese Form charakteristisch zu sein. — Die günstige Temperatur des Wirkens dieses Organismus ist zwischen 16—30° C. gefunden worden†††).

*) Dies wird wohl noch nicht der endgültige Namen sein, da noch keine ausreichenden bakteriologischen Studien über diese Form vorliegen.

**) Schon von Chaptal als Organismus bezeichnet, obwohl nicht ganz in unserem heutigen Sinne. Vgl. Ann. d. Chim. (1), T. 36, p. 250.

***) Compt. rend., T. 67, p. 105.

†) Französisch: Fleur du vin, sonst auch Kuhn (holländisch: koenen) genannt.

††) Ich habe *Saccharomyces Mycoderma* auf Milchsäure-, Äpfelsäure-, Citronensäure-, Weinsäurelösungen etc. sich üppig entwickelnd beobachtet. Nach Bersch soll der Pilz im Weine Weinstein in kohlensaures Kali zu verwandeln vermögen. Siehe dessen: Krankheiten des Weines, 1873, p. 26.

†††) Vgl. in Bezug auf diese wie auf einige folgende Angaben: J. Bersch, das eben angeführte Werk.

Eine eingehendere Untersuchung über die spezifischen Ernährungsverhältnisse dieses Pilzes verdanken wir A. Schultz. Als Resultat der durch diesen Forscher angestellten Versuche kann das Folgende hingestellt werden. Es ist nur mit den grössten Schwierigkeiten möglich, die *Mycoderma* in Flüssigkeiten fortzubringen, welche ausser Alkohol keine organische Substanz enthalten, und deshalb ist auch schon gelegentlich daran gezweifelt worden, ob jene als ein eigentliches Nahrungsmittel des Pilzes gelten dürfe, ob er nicht vielmehr durch eine nebenhergehende Wirkung desselben zerstört werde, ähnlich wie wir bald bei wasserstofferzeugenden Pilzen nebenher bei Anwesenheit von Zucker Mannit, bei Anwesenheit von Schwefel Schwefelwasserstoff, bei Anwesenheit von Salpetersäure Stickoxyd entstehen sehen werden. Aber so schlecht *Mycoderma* gedeiht in Flüssigkeiten, welche ausser Alkohol Ammoniaknitrat, Nährsalze und Wasser enthalten, so unmöglich ist nach Schultz die Vegetation in fast allen Fällen bei Ausschluss von Alkohol, in welchem Punkte der genannte Forscher übrigens in Widerspruch verkehrt mit den Resultaten anderer. Nur für Asparagin und äpfelsaure Salze ergaben die Versuche eine Ausnahme. In jedem Falle ist also Alkohol auch nach den Versuchen von Schultz nicht absolut notwendig für die Ernährung der *Mycoderma*. Andererseits sprechen sie entschieden dafür, dass dieser Stoff in allen Fällen seiner Anwesenheit sich bei der Ernährung des Organismus beteilige. Es wurde beispielsweise immer noch mehr Kohlenstoff in der Pilzsubstanz vorgefunden, als aus den zugesetzten organischen Stoffen, mit Ausnahme des Alkohols, hergeleitet werden konnte. Die bestgeeigneten Nährlösungen erhielt A. Schultz, wenn er neben Alkohol ein stickstoffhaltiges Derivat einer der zur Ernährung tauglichen Säuren oder ein Gemisch dieser mit Ammoniaksalzen verabreichte, also Asparagin für sich allein oder aber weinsaures Ammoniak oder salpetersaures Ammoniak und Äpfelsäure, Bernsteinsäure oder Weinstein; auch Glycerin oder sogar Dextrin brachten neben Alkohol und Ammoniaksalz günstige Wirkungen hervor, während Essigsäure, Gerbsäure und auch Dextrose eher hemmende Wirkung verursachten. Leider ist zu gleicher Zeit nicht untersucht, inwieweit sich die verschiedenen Beimengungen an dem Stoffwechsel des Pilzes beteiligten.

Die fragliche *Saccharomyces*art teilt also auch insofern die Ernährungsansprüche der übrigen physiologisch so verschiedenen Glieder ihrer Gattung, als sie auch durch Ammoniaksalze in Bezug auf ihr Stickstoffbedürfnis versorgt werden kann.

Dass salpetersaure Salze die Ammoniaksalze auch hier nicht zu vertreten vermögen, wurde ebenfalls durch Schultz nachgewiesen, nachdem schon eine Beobachtung Nessler's darauf hingewiesen hatte*). Selbst das salpetersaure Ammoniak ist ein noch ungünstigeres Nahrungsmittel des Kahmpilzes als des Bierhefepilzes. Organische Ammoniaksalze werden von ihm noch entschiedener bevorzugt. Sonst herrscht eine merkwürdige Gleichmässigkeit in der Stickstoffernährung zwischen den beiden physiologisch so verschiedenen Arten einer und derselben Pflanzengattung. A. Schultz fand ungefähr genau, wie früher durch die Untersuchungen des Autors für den Hefepilz festgestellt wurde: Unmöglichkeit der Ernährung durch freien Stickstoff und durch koaguliertes Eiweiss, eine sehr schlechte Ernährung durch andere

*) Vgl. Nessler: Behandlung des Weines, 1872, p. 29.

schlecht diosmierende Eiweissstoffe, wie Casein, Pflanzenfibrin, Gluten, Fibrin, ferner schlechte Ernährung durch Guanin, Amygdalin und Harnsäure, eine gute Ernährung in absteigender Folge durch äpfelsaures und weinsaures Ammoniak, durch Asparagin, milchsaures Ammoniak, Harnstoff, Allantoïn und salpetersaures Ammoniak. Die Ernährung wurde wohlgemerkt nicht gemessen an der Fermentwirkung, sondern an der durch Wägung konstatierten Zunahme an Pilzsubstanz.

Dieselbe Übereinstimmung wie in Bezug auf die Stickstoffernährung ergab sich nach den Versuchen von A. Schultz auch für die Ernährung des Kahmpilzes durch Aschenbestandteile. Phosphorsäure und Kali erwiesen sich als die in grösster Menge notwendigen, Magnesia als in zweiter Linie notwendiger Aschenbestandteil. Schwefel betrachtet Schultz auf Grund seiner Versuche ebenfalls als in kleinen Mengen unentbehrlich*).

Weiter gewährt die Schultz'sche Arbeit ein entschiedenes Interesse in der Frage, wie sich bei dem Kahmpilze die Ernährung und Vermehrung zur Fermentwirkung verhalte.

Auch hier ergibt sich, was wir früher schon für den Hefepilz hervorgehoben haben, die Thatsache, dass die Anschauung von einer vollkommenen Proportionalität der beiden Vorgänge fallen gelassen werden muss. Gerade wie der Zerfall des Zuckers in Alkohol und Kohlensäure bei Berührung mit den meisten *Saccharomyces*-arten heute nicht mehr als gleichmässig fortschreitend angesehen werden darf mit einer ausgiebigen Vermehrung dieser Pilze, gerade so ist die Alkoholzerstörung durch *Mycoderma* nicht am stärksten unter Ernährungsverhältnissen, welche eine sehr rasche Vermehrung des Kahmpilzes zulassen**).

Ferner gehört nach A. Schultz Glycerin zu den Stoffwechselprodukten des Kahmpilzes, und zwar sollen nach ihm etwa 7 Prozent des umgesetzten Alkohols in diesen Stoff verwandelt werden. Die Sache klingt etwas unglaublich, aber vielleicht liesse sie sich aus einem gemeinschaftlichen Gesichtspunkte mit der Glycerinerzeugung bei der alkoholischen Gärung erklären, zumal bei dieser auch ungefähr 7 Prozent des *erzeugten* Alkohols gebildet werden.

*) Über die Entbehrlichkeit des Schwefels kann ich hinzufügen, dass im landwirtschaftlichen Laboratorium der Universität Heidelberg unter der Leitung des Verfassers ausgedehntere Versuche durch Dr. L. Berend gemacht worden sind, welche insofern zweifelhafte Resultate ergaben, dass auch *Mycoderma* bei möglichster Vorenthaltung aller schwefelhaltigen Nahrung stets Proteinstoffe, erkennbar an der Millon'schen Reaktion, mit dem normalen Schwefelgehalte einzuschliessen pflegen, so dass eine strenge Beantwortung der Frage ähnlich wie bei dem Hefepilze an der Unreinheit der chemisch reinsten Substanzen scheitert, aber mit Wahrscheinlichkeit im positiven Sinne zu geben ist.

**) Ob die Schultze'sche Beobachtung einfach darauf zurückgeführt werden kann, dass unter ungünstigen Ernährungsverhältnissen sich Essigbakterien beimengen und diese eigentlich die Hauptmengen an Alkohol verzehren, muss einstweilen noch dahin gestellt bleiben. Für diese Auffassung spricht die gleichfalls durch Schultz erwähnte Thatsache, dass auch prozentisch um so mehr Alkohol in Essigsäure verwandelt wurde, je schlechter die *Mycodermen*-vermehrung verlief. Auch muss man im Auge behalten, dass die betreffende Untersuchung, wie alle älteren, nicht nach der Methode der Reinzucht angestellt wurde.

Als Umsetzungsprodukt fand Schultz ausser Kohlensäure, Wasser und etwas Essigsäure noch die nächst höheren Homologen dieser letzteren; und zwar war die Anwesenheit von verschiedenen organischen Säuren oder Glycerin in der Vegetationsflüssigkeit dafür maassgebend, ob Propionsäure, Buttersäure oder Baldriansäure gebildet wurde. Bei Anwesenheit von Kohlenhydraten wurde auch die Entstehung von Milchsäure beobachtet, so dass wir es wohl teilweise mit nebenherlaufenden Gärungserscheinungen zu thun haben.

Was den Alkoholgehalt von Flüssigkeiten angeht, die von dem Weinkahm befallen werden, so liegt die obere Grenze bei 11—12 % Vol. Die Essigsäurebakterien gedeihen, obwohl spärlich, auch noch bei einem höheren Alkoholgehalt; wenigstens beobachtet man gerade in stärkeren Weinen häufig den Essigstich. Allein trotz dieser Möglichkeit ziehen sie doch einen niedrigen Gehalt so sehr vor, dass gerade die Verminderung eines Weines an Alkohol infolge von Kahmbildung praktisch als die beste Vorbereitung für den Stich angesehen werden muss, weil dann die Essigbakterien unsere oxydierende *Saccharomyces*art überwuchern. Auch scheinen die ersteren genügsamer in Bezug auf die übrigen Nährstoffe zu sein als der Kahmpilz, und beruht auch wohl hierauf z. T. eine solche nachträgliche Überwucherung.

Dass ein hoher Alkoholgehalt von diesen beiden Formen nicht ertragen wird, hat gleichfalls seine hohe praktische Bedeutung, indem man namentlich in südlichen Ländern durch Weingeistzusatz die Weine vor dem Befallen durch diese verschiedenen Organismen zu bewahren sucht*). Übrigens kann der Kahmpilz auch selbst in Weinen einigen Nutzen stiften, indem auch die Äpfelsäure, ein unliebsamer Bestandteil namentlich der Weine kälterer Länder, durch die Bildung aufgezehrt wird. Vielleicht beruht hierauf die Schätzung der Kahmhäute, wie sie sich unfehlbar bei dem langdauernden Zapfen aus dem Fass einstellen, bei vielen elsässischen, ihre Nichtachtung bei vielen schwäbischen Weinproduzenten.

Schultz hat auch eine Aschenanalyse des Kahmpilzes angestellt, die darum

*) Eine selten vorkommende Weinkrankheit, der sog. *Rauchgeschmack* der Weine, ist nachweislich von der Entwicklung eines spezifischen Organismus abhängig. Derselbe hat sich identifizieren lassen mit den Conidien eines bekannten Schimmelpilzes, *Botrytis cinerea*, der im besonderen auch auf faulen Trauben nistet und auch auf diese Weise in den Most gelangt. Der Umsatz, der bewirkt wird, und namentlich die Natur des schmeckenden Körpers ist noch nicht festgestellt worden. Das sogenannte *Umschlagen* des Weines, in späteren Stadien auch als *Faulen*, *Modern*, *Versieden* bezeichnet, besteht zunächst in einer Verwandlung von Weinstein in kohlensaures Kali und vielleicht etwas Essigsäure. Der Wein nimmt in der Folge alkalische Beschaffenheit an und ist dann natürlich völlig verdorben. Die Krankheit des Bitterwerdens, welche bei Rotweinen beobachtet wird, wird in neuerer Zeit als sekundäre Folge denselben Ursachen zugeschrieben. Die betreffenden Organismen sind noch nicht mit Sicherheit festgestellt, doch hat man gesucht, untergetauchte *Penicillium*vegetationen als die Übeltäter anzusehen und überhaupt die Erscheinung in Beziehung zu bringen zu den Pasteurschen Beobachtungen über Weinsäuregärung, welche sich bekanntlich vorzugsweise auf die sog. Rechtsweinsäure erstreckt, und wobei auch Propionsäure gebildet werden soll (Compt. rend., T. 46, p. 615).

von Interesse ist, als sie mit dem Aschengehalte der alkoholregenden *Saccharomyces*-arten grosse Übereinstimmung zeigt. Er fand nämlich:

Gehalt an Asche 7,25 %

und in derselben:

Phosphorsäure	54,5 %
Kali	36,3 „
Kalk	2,7 „
Magnesia	4,4 „
Schwefelsäure	0,3 „*).

Als eine weitere Oxydationsgärung dürfte die Bildung von *Oxalsäure* bezeichnet werden, zu denen eine sehr grosse Zahl von Pilzen und Bakterien, auch einzelne *Saccharomyceten***) befähigt sind, wenn man sie auf einem zuckerartigen Substrat erzieht, obwohl der Ausdruck Gärung uns in diesem Falle etwas fremdartig anmutet, da diese Thätigkeit auf dasselbe hinauszulaufen scheint wie die überall im Leibe der höheren Pflanze vorkommende Oxalsäurebildung. Doch findet nicht bloss bei den auf Flüssigkeiten lebenden Pilzen häufig eine Ausscheidung der gebildeten Säure, z. B. als Kalioxalat, nach aussen hin statt, welcher Fall der Essigbildung ganz analog ist, sondern auch in der höheren Pflanze scheint die Oxalsäurebildung häufig mit der Eiweisserzeugung in Verbindung zu stehen und daher häufig mehr einem Spaltungs- als einem Oxydationsprozesse zu entspringen, so dass die Sachlage doch etwas verschiedener ist, als es den Anschein hat.

Bemerkenswert ist hierbei vielleicht die typisch andersartige Wirkung der Pilz- zelle als die der Bakterienzelle. Oxalsäure ist nächst der Kohlensäure die höchst oxydierte Kohlenstoffverbindung, und diese wird, wenn nicht die Kohlensäure selber, durch sehr verschiedene Pilzzellen erzeugt, während das *Bacterium aceti* und Kon- sorten den Zucker nur zu Glyconsäure zu oxydieren pflegen, einer Verbindung, welche nur um ein Atom sauerstoffreicher ist als das Substrat, und genau dieselbe schwäch- liche Oxydation am Alkohol vornehmen.

Wir werden bald sehen und haben z. T. schon gesehen, dass dieser typische Unterschied auch für die Spaltungsgärungen Geltung hat, indem die eigentliche alkoholische Gärung auch durch ziemlich verschiedene Organismen, aber immer durch solche aus der Gruppe der Pilze bewirkt wird, während gärungstüchtige Organismen aus der Gruppe der Bakterien denselben Zucker, der auch das Substrat der alko- holischen Gärung ist, gewöhnlich viel weniger tiefgreifend und der Hauptsache nach in Milchsäure umsetzen, und Alkohol***) nur ein sehr seltenes und in kleinen Mengen auftretendes Produkt derselben ist.

Dieser durchgehende Unterschied kann unmöglich zufällig sein, schliesst viel- mehr eine Gesetzmässigkeit ein, die für uns freilich noch mit einem Schleier verhüllt ist, an deren Enthüllung wir aber zu arbeiten haben.

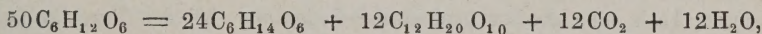
*) Vgl. Annal. d. Önologie, VII, p. 128.

**) Vgl. Zopf: Ber. d. botan. Gesellsch., 1889, und *Die Pilze*, 1890, p. 193.

***) Von der methylalkoholischen Gärung, von der Marcano (Compt. rend., 108, p. 955) berichtete, schweigen wir, bis Bestätigung erfolgt.

Von weiteren Gärungserscheinungen mögen dann noch die folgenden erwähnt werden.

Von einigen Forschern, hauptsächlich französischen, ist die sogenannte *schleimige Gärung* zum Gegenstand von Untersuchungen gemacht worden. Als Substrat dieser Gärung sind der Traubenzucker und andere Glycosen anzusehen. Gärungsprodukte dabei sind regelmässig ein Gummi, Kohlensäure und Mannit. Nicht so konstant sind bei dergleichen Gärungsvorgängen auch noch die Produkte: Milchsäure, Buttersäure und Wasserstoffgas beobachtet worden. Günstigste Temperatur bei ungefähr 30° C. Vielleicht ist es derselbe Vorgang, welcher das Zäh- oder Langwerden mancher schlecht behandelten zumal weisser Weine veranlasst. Der Prozess ist am leichtesten künstlich hervorzurufen durch filtrierte Abkochungen von Bierhefe mit Zucker versetzt sich selber zu überlassen. Man hat wohl für den Prozess folgende Gleichung aufgestellt:



woraus folgende Quantitäten von den Gärungsprodukten sich berechnen:

100 Glycose = 48,5 Mannit + 43,2 Gummi + 5,9 Kohlensäure, was mit der Erfahrung ziemlich gut übereinzustimmen scheint*).

Nach Auffassung mehrerer Bakteriologen wäre der schleimartige Körper, analog dem, was bei der Essiggärung über das Wesen der sog. Essigmutter mitgeteilt wurde, bei dergleichen Gärungserscheinungen nicht als eigentliches Gärungsprodukt, sondern als zugehörig zu der Masse des Gärungsorganismus aufzufassen**).

Als Ferment des zähen Weins sind wenig charakteristische Formen, die sich rosenkranzförmig aneinanderreihen, angegeben worden. Die betreffende Veränderung findet auch im Weine allem Anschein nach auf Kosten von unvergorenem Zucker statt, und es wird dabei ein Schleimstoff erzeugt, so dass der Wein zunächst nicht in seinem Geschmacke wesentlich geschädigt wird. Die betreffenden Organismen sind gleichfalls empfindlich gegen einen hohen Alkoholgehalt, dann auch, wie man annimmt, gegen einen Gehalt von Gerbstoffen, so dass deshalb der rote gerbstoffreiche Wein von dieser Krankheit verschont bleibt.

Das Verhütungsmittel der Krankheit ist jede Begünstigung der Alkoholgärung, die Bekämpfung geschieht nach einigen rein empirischen Hausmittelchen, welche helfen oder auch nicht helfen, jedenfalls aber nicht von einem theoretischen Gesichtspunkte aus gewählt sind***).

Die gewöhnliche *Buttersäuregärung* wird durch einen stäbchenförmigen Spaltpilz, der *Clostridium butyricum* genannt worden und weit in der Natur verbreitet ist, hervorgebracht.

Dabei werden Kohlenhydrate, Mannit, Milchsäure (nach einigen Angaben auch Glycerin) im wesentlichen in Buttersäure, Wasserstoff und Kohlensäure gespalten, doch selten ganz vollständig, da die entstehende Säure für den eignen und andere Organismen recht

*) Ein vollständiger Litteraturnachweis über diesen Gegenstand ist zu finden bei Schützenberger: Die Gärungserscheinungen, 1876, p. 167.

**) Über eine Schleimgärung der Milch vgl. Landw. Versuchszt., 43, p. 5.

***) Vgl. die Studien von Nessler über diese Krankheit: dessen Behandlung des Weines, 1872, p. 116.

giftig wirkt. Daher kann, ähnlich wie bei der Milchsäuregärung, der Umsatz durch Zusatz von feinem Pulver von kohlenurem Kalk begünstigt werden. Bei der Stärke-, Inulin- und Dextringärung wird auch Äthylalkohol als Nebenprodukt aufgefunden. Aus Mannit scheint unter dem Einflusse der nämlichen Organismen auch Milchsäure und Bernsteinsäure erzeugt zu werden. Die Lebensweise des Pilzes ist auch in Bezug auf Sporenbildung und Keimung streng anaërob und nach einigen Angaben ist selbst die Abwesenheit von Sauerstoff eine Bedingung seines Gedeihens*). Der Buttersäurepilz ist ferner dadurch charakterisiert, dass er sehr kräftige Enzyme abzuscheiden im stande ist, welche Stärke und selbst Cellulose zu intervertieren vermögen. In der Bakterienzelle selbst wird dann unter dem Einflusse des Protoplasmas wieder eine Art Stärke**) zurückgebildet.

Der Vorgang, der durch diesen Organismus bewirkt wird, hat eine praktische Bedeutung für das Reifen des Käses, auch für die späteren Stadien der Gärung beim Sauerkraut. Auch eine gewisse geologische Bedeutung bei der Transformation der Pflanzenreste scheint demselben zuzukommen. Derselbe wird durch höhere Temperaturen (37 °) sehr begünstigt. Gegen Kochhitze sind dagegen selbst die Sporen wenig resistent.

Glycerin kann, soweit bekannt, mit Sicherheit zwei verschiedene Vergärungen erleiden***), die eine durch eine breitere Bakterienform mit Butylalkohol als Hauptprodukt, die andere durch *Bacillus subtilis* (Cohn) mit Erzeugung von Äthylalkohol. Der letztere Pilz bildet nur sehr wenig Säure. Eine Anhäufung des Butylalkohols in dem ersteren Falle veranlasst die betreffenden Bakterien, Dauersporen zu bilden und damit in eine ruhende Form überzugehen. In dieser Form bewahren die Organismen sehr lange ihre Keimfähigkeit. Die Stickstoffernährung dieser Bakterien kann in der Form von Ammoniaksalzen von statten gehen.

Vergärungen der *Äpfelsäure* resp. von organischen Verbindungen, welche derselben nahestehen, z. B. von Asparagin, sind auch noch beobachtet worden. Dabei tritt häufig *Bernsteinsäure* und etwas *Kohlensäure* auf. Unter anderen Umständen zerfällt aber Äpfelsäure an Kalk gebunden in Milchsäure und Kohlensäure. *Citronensäure* hat Personne durch einen Gärungsprozess sich in *Essigsäure* und *Buttersäure* verwandeln sehen, ebenso Rigault†) *Schleimsäure* in dieselben Produkte, wobei noch das Auftreten von Wasserstoff und Kohlensäure konstatiert wurde ††).

*) Es fragt sich übrigens, ob diese schon von Pasteur gemachte Beobachtung sich bei Reinkulturen bestätigen würde, da die günstige Wirkung sich auf das Fernehalten aërober konkurrierender Organismen beziehen könnte.

**) Daher auch der ältere Name *Amylobacter* und der Name *Granulobacter* Beyerinck's.

***) A. Fitz: Ber. d. deutsch. chem. Gesellschaft, X, 276 u. XI, 42.

†) Compt. rend., T. 50, p. 782. Nach Béchamp soll durch bakterienartige Organismen, welche er *Mikrozyma* nennt, *Holzgeist* in *Essigsäure* (Compt. rend., 1869, II, p. 210), *Glycerin* in *Alkohol* und *hochatomige Fettsäuren* verwandelt werden (ebenda p. 669 u. a. anderen Orten; daselbst auch noch andere merkwürdige z. T. unmögliche Angaben) — Thatsachen, die, soweit sie nicht anderweitig bestätigt, mit grosser Vorsicht aufzunehmen sind.

††) Eine ziemlich umfassende Zusammenstellung von Gärungsumsetzungen hat neuerdings Herfeldt (Centralbl. f. Bakteriologie, 1895, Nr. 23) gegeben.

Ein sehr merkwürdiger Fall, der sich bis jetzt noch am wenigsten in das allgemeine Schema der Gärungsumsetzungen fügen will, ist weiter die sogen. Durin'sche *Cellulosegärung*. In dem filtrierten Rübensafte und selbst in den Melassen sollen sich zuweilen Körnchen finden, welche im wesentlichen aus Cellulose (oder Pilzcellulose) zu bestehen scheinen. Dies kommt dadurch, dass der betreffende Organismus sich mit viel schleimiger Cellulose umhüllt. Dieselben geben daselbst auch Anleitung zum Entstehen gelatinöser (froschlauchartiger) Massen, welche sich mit Alkohol niedergeschlagen ebenfalls wie Cellulose oder besser wie Scheibler's Dextran, ein Polysaccharid vom Charakter des Pflanzenschleims, verhalten. Durch Beimischung von Schwefelsäure ist diese Bildung, welche nur in neutraler Lösung von statten geht, zu verhindern; durch Beimischung von kohlensaurem Kalke wird sie befördert. Das Dextran entsteht dabei auf Kosten von Rohrzucker, während ein anderer Teil desselben in Lävulose verändert wird. Gleichzeitig findet Kohlensäureentwicklung statt. Das betreffende Ferment, auch aus Malzextrakt und besonders aus Leinsamen, Johannisbrotkörnern, Maisähren, Fucus zu erhalten, ist sehr widerstandsfähig und wird durch Kochen nicht mit Sicherheit getötet. Beimischung von Chloroform hebt indessen seine Wirkung vorübergehend auf. Der betreffende Gärungsorganismus ist *Leuconostoc mesenterioïdes* genannt worden und scheint mit Hilfe vom Sauerstoff der Luft einen Teil des Zuckers zu Kohlensäure und Wasser zu verbrennen, einen andern Teil in die genannten Produkte zu verändern. Vermutlich ist diese Cellulosegärung verwandt mit der schon erwähnten Schleimgärung*).

Endlich sind die eigentlichen Fäulniserscheinungen auch mit spezifischen Bakterien, hauptsächlich *Bact. termo*, in Beziehung gebracht worden, ohne dass man jedoch in der Lage wäre, über den dabei stattfindenden Stoffwechsel viel mehr anzugeben, als schon gelegentlich der Besprechung der Hefefäulnis in der siebenten Vorlesung mitgeteilt wurde. Nur ist mitzuteilen, dass die aufgefundenen Fäulnisbakterien nach F. Cohn auch auf Kosten von Ammoniak- und salpetersauren Salzen ihren Stickstoffbedarf zu decken vermögen**).

Natürlich geht der vollständigen Spaltung der Eiweissstoffe deren Peptonisierung voraus, ganz ähnlich wie in der Gruppe der Kohlenhydrate die Bildung von Glycosen der erste Schritt ist zu der weiteren Zersetzung, und hier wie dort sind darum nur diejenigen Bakterien zur Gärungserregung geeignet, welche über die betreffenden hydrolytischen Enzyme verfügen. Auf eine ähnliche Weise wie die Eiweissstoffe werden auch die gewöhnlichen stickstoffhaltigen Spaltungsprodukte derselben, die wir früher***) z. T. erwähnt haben, wie namentlich Tyrosin und Leucin, ihrerseits durch Bakterien umgesetzt. Aus dem letzteren entstehen hierbei ausser Fettsäuren die Endprodukte so vieler Gärungserscheinungen: Wasserstoff, Kohlensäure und Am-

*) Ein ähnlicher Vorgang ist von Koch u. Hosaeus beschrieben. Vgl. Centralbl. Bakteriologie etc., 16, Nr. 6. Eine physiologisch und morphologisch sehr eingehende Beschreibung einer Schleimgärung von van Laer: Mémoires publiées par l'Académie royale de Belgique, 1889, 43. Mehrere Gallertbakterien werden unterschieden von Zopf: Die Altpilze, p. 66.

**) Vgl. Cohn: Beiträge zur Biologie der Pflanzen, II, p. 127.

***) Vgl. Vorlesung 7.

moniak. Das Tyrosin zerfällt auf eine ähnliche Weise, nur dass entsprechend seiner Konstitution, woran aromatische Verbindungen teilnehmen, auch Gärungsprodukte aus dieser Kategorie, wie z. B. Phenol, Indol und andere derartige Stoffe, gefunden worden sind.

Auch organische Pigmente, wohl alle den sog. aromatischen Verbindungen zugehörig, werden durch spezifische Bakterienformen zahlreich erzeugt*).

Einige andere Gärungen werden wir noch in der folgenden Vorlesung bei Gelegenheit der Besprechung allgemeiner Gesichtspunkte über die Theorie der Gärungen erwähnen.

Dreizehnte Vorlesung.

Allgemeine Gesichtspunkte in der Chemie der Gärungen. — Neue Ziele der Forschung. —
Schluss.

In der vorigen Vorlesung sahen wir uns in die Notwendigkeit versetzt, obgleich die Aufzählung noch keineswegs vollständig genannt werden darf**), eine solche Menge von Einzelthatsachen auf dem Gebiete der Gärung mitzuteilen, dass dadurch zunächst der Einblick in das Wesen der Gärung mehr versperrt als geöffnet worden ist. Suchen wir heute einen Leitfaden aufzufinden, der uns in diesem Wirrsale zurechtzuhelfen geeignet ist.

Um zu einem solchen zu gelangen, müssen wir die allgemeine physiologische Bedeutung der Gärung in den Vordergrund stellen und ihre Veranlassung durch spezifische Organismen zur Seite lassen. Sehen wir zu, inwieweit wir hierzu berechtigt sind.

Es scheint zwar, wenn man die Entwicklung der Bakteriologie in den letzten beiden Decennien betrachtet, als ob die ganze Wissenschaft der Gärungen und ebenso die der ansteckenden Krankheiten sich aufzulösen berufen sei in eine blosse Kenntnis von einer mit jeder neuen Untersuchung in unheimlichem Maasse sich vermehrenden Anzahl von einzelnen Arten von niederen Lebewesen, von welchen ein jedes einem spezifischen Gesetze folgt. Diese Richtung beherrscht jetzt die Welt und feiert täglich neue Triumphe.

Gegen diese Auffassung, die offenbar wissenschaftlich wenig Befriedigendes***) haben würde, lässt sich nun geltend machen, dass es, was die Gärungen anlangt,

*) J. Schrötter in Cohn: Beiträge zur Biologie der Pflanzen, II, p. 109.

**) Viele weitere Details, namentlich in Bezug auf die Vergärung der Zuckerarten, sind gesammelt in v. Lippmann: Die Chemie der Zuckerarten, 1895, p. 207 u. 749.

***) Die einstige Opposition Liebig's gegen Pasteur beruhte, wie man sich erinnern wird (Vorlesung 4), teilweise auch auf einer Reaktion seines gesetzesuchenden Verstandes, gegen die Selbstgenügsamkeit der empirischen Auffassung, die sich einfach einen Speziesnamen als die Ursache einer Gärungserscheinung aufdrängen liess, und von diesem Eindrucke geführt liess er sich dazu verleiten, vorschnelle Verallgemeinerungen an Stelle der sehr berechtigten Induktionen zu stellen. Deswegen war aber doch sein Grundgefühl in dieser Hinsicht ein richtiges, und auch heutzutage wird die Sucht, einen „Bacillus“ als Ursache alles Unerklärten aufzuspüren, mit Recht verspottet.

sehr viel mehr Spezies von Gärungsorganismen giebt als verschiedene Arten von chemischen Umsetzungen, so dass eine ganze Reihe von jenen und morphologisch oft recht verschiedenen wesentlich *denselben* Umsatz in den von ihnen bewohnten Flüssigkeiten bewirken. Dass es mit Krankheiten anders zu sein scheint, ja dass hier bei einer und derselben Bakterienart die Infektions- oder die krankmachende Fähigkeit (Virulenz) durch Umzüchtung rasch verloren gehen oder auch wohl erworben werden kann, könnte hier füglich unbesprochen bleiben; aber als Hinweis auf eine mögliche Erklärung ist es doch zweckmässig zu erwähnen, dass eine sehr geringfügige Veränderung in den Lebensbedingungen und Ausscheidungen der maassgebenden Organismen für ihre gesundheitliche Gefährlichkeit entscheidend sein kann. Man denke sich z. B. das Temperaturoptimum ihrer Wirksamkeit nur um ein wenig verschoben, so dass dasselbe mit der Bluttemperatur des zu infizierenden Organismus nicht mehr übereinstimmt, oder die Widerstandsfähigkeit gegenüber einer sauren oder alkalischen Reaktion nur ein bisschen verändert, und ein pathogener Spaltpilz kann schon hierdurch allein ein unschädlicher werden, weil unter den so veränderten Umständen die Zellen des Tierkörpers gegen den Eindringling mit Erfolg konkurrieren können. — In dieselbe Kategorie gehört auch von unserem Gesichtspunkte aus die Abscheidung von Giftstoffen seitens der Bakterien, durch die Entstehung von welchen die moderne Pathologie so oft einerseits die schädliche Wirkung der kleinen Organismen, andererseits (indem die Gifte nämlich giftig sind für die Bakterien selber) die durch Krankheit erworbene Immunität zu erklären sucht. Es ist hier nicht der Ort, auf alle die Komplikationen dieser Theorie, die sich je länger je weniger übersichtlich gestaltet hat, einzugehen, und es genügt die Bemerkung, dass derartige Giftstoffe anscheinend nur in geringen Mengen, so dass dadurch die eigentliche chemische Gleichung der Gärung nicht gestört zu werden braucht, sich bilden. Es verhält sich damit ähnlich, wie in dem uns geläufigen Beispiel, dass die kultivierten Hefepilze und die wilden, ja auch gewisse Mucorarten an dem Zucker eine ganz gleichartige Umsetzung bewirken, dass aber nur die erstgenannten für die bekannten technischen Zwecke brauchbar sind. Die anderen sind es nicht des (vom theoretischen Standpunkte aus geringfügigen) Umstandes wegen, weil entweder unwägbare Mengen unangenehm schmeckender Beiprodukte gebildet werden, oder weil die Hefe sich nicht klar absetzt, oder weil die Alkoholproduktion nicht energisch genug verläuft etc. etc., was aber praktisch über Wert oder Unwert der Form entscheidet.

Berücksichtigen wir dies, so können wir uns nicht länger der Einsicht verschliessen, dass auf dem Gebiete der Gärung die Natur des kleinen Lebewesens, welche wir als die Ursache der Erscheinung zu betrachten pflegen, nicht alles, und die Natur des zu vergärenden Stoffes sehr viel entscheidet*).

*) Nägeli hat durch seine mehr auf Spekulation denn auf gründlicher Wahrnehmung beruhenden Schlussfolgerungen, wonach die Spezies bei den niederen Organismen nichts Festes, sondern etwas durch äussere Einflüsse leicht Veränderbares oder Degenerierfähiges sein sollten, nach der jetzt herrschenden Auffassung besonders auch der gesunden Entwicklung der Hefenfrage in der Praxis viel Schaden gethan. Diesen bis zu einem gewissen Grade gewiss berechtigten Anschauungen gegenüber wäre nicht bloss die wohlfeile Bemerkung zu stellen, dass auch dieser Irrweg erst gegangen sein musste, um durch

Wie viele niedrige Organismen leben nicht von den Glycosen und von ihren Anhydriden! Und doch zerfällt die Glycose immer entweder nach der Gleichung der alkoholischen Gärung, oder der der Milchsäuregärung, oder der der Buttersäuregärung, vielleicht auch noch endlich nach der der Cellulosegärung oder nach einer anderen, von welchen wir indessen noch zu wenig wissen, um dies mit Sicherheit behaupten zu können. Insbesondere steht in dieser Richtung ganz fest, dass es ungezählte Organismen aus der Reihe der Saccharomyceten und einzelne Schimmelpilze giebt, die alle das Zuckermolekül in der erstgenannten Richtung spalten, und ebenso ist schon eine ganze Reihe von Bakterien gefunden, die alle dasselbe Substrat in der Richtung der Milchsäuregärung zum Zerfall bringen, während diese kleinsten Lebewesen zur Alkoholerzeugung wenig geeignet sind. Allerdings erleidet so ein und dasselbe Substrat unter dem Einfluss verschiedener Organismen verschiedene Zersetzungen, aber die Zahl derselben ist doch sehr beschränkt und von der Natur des Substrats selber mit bestimmt, dessen Moleküle gleichsam nur in zuvor angewiesenen Richtungen sich spalten.

Durch diese Betrachtungen wird offenbar die rein botanische Seite der Frage der Spaltpilzgärungen in den Hintergrund, die chemische Seite dagegen mehr in den Vordergrund gedrängt. Wenn die Gärungserscheinungen in ihrem spezifischen Charakter *nicht ausschliesslich bestimmt werden durch die Eigentümlichkeit der sie veranlassenden Formen*, wenn sich diese Formen vielmehr bis zu einem gewissen Grade einrichten *nach der besonderen Natur der Gärungsflüssigkeiten*, sei es nun, dass die betreffenden Keime gewöhnlich zur rechten Zeit sich einstellen, oder sei es, dass gelegentlich eine Umbildungsfähigkeit, eine Anpassung sich einstellt, analog der von Mucorschimmel in Mucorhefe bei Abschluss von Luft, so spitzt sich die Frage natürlich immer mehr in der Richtung zu: *Zu welchen Umsetzungen neigt eine Gärungsflüssigkeit von einer bestimmten chemischen Beschaffenheit und welches ist das allen Gärungen gemeinsame chemische Prinzip?*

In dieser Richtung giebt es nun glücklicherweise schon seit Jahren wichtige

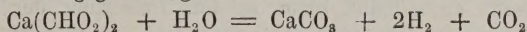
alle die Enttäuschungen gereift, genug Energie anzusammeln, um nun den einzigen Weg, der noch übrig blieb, den der geduldigen Detailforschung, mit Entschlossenheit zu gehen — ein Trost, der für die Würdigung verkehrter Theorien von einem historischen Standpunkte aus so häufig übrig bleibt —, sondern es bleibt auch zu beherzigen, dass der richtige Kern in jenen Anschauungen, für welche man zur Zeit nur noch ein mitleidiges Achselzucken übrig hat, vorhanden war, dass der Charakter einer Gärung durchaus nicht allein von dem voraus gegebenen morphologischen Charakter der anwesenden Gärungsorganismen bedingt wird, sondern dass umgekehrt das Substrat in hohem Grade auf die Gärung und zugleich auf die Gestalt jener einzuwirken im stande ist. — Auch darin hat Nägeli nicht schlecht gesehen, dass die äussere Gestaltung der Bakterien, z. B. das Auftreten von Coccen, längeren und kürzeren Stäbchen, vielfach nur von den äusseren Umständen abhängig ist, und an und für sich nicht den Artcharakter ausmacht. Aber freilich er hat angesichts dieser Thatsachen zu frühe das Gewehr in den Graben geworfen. Ein anderer Teil der Nägeli'schen Theorie, in Bezug auf die Fernwirkung der Hefe, wurde in Zeitschr. f. Biologie, 18, p. 522 durch den Verfasser dieser Vorlesungen selber diskutiert.

Beiträge, welche nur durch die modernen Erfolge des bakteriologischen Ausbaues der Frage einstweilen etwas in den Hintergrund gedrängt worden sind.

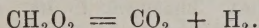
Hoppe-Seyler*) hat zum erstenmal die scheinbar verschiedenartigsten Gärungen von einem solchen ganz allgemein chemischen Gesichtspunkte aus behandelt. Das Wesen aller Gärungserscheinungen ist diesem Forscher zufolge „Wanderung von Sauerstoffatomen nach dem einen Ende des Moleküls bei gleichzeitiger Reduktion der anderen Seite desselben“. Daher bei allen Gärungsvorgängen einerseits die *Bildung von Kohlensäure*, andererseits *Bildung von Wasserstoff, Kohlenwasserstoff* stattfindet, oder wenigstens von Körpern, welche an diesen beiden Elementen dem ursprünglichen Stoffe gegenüber relativ bereichert sind, wobei wir nicht hervorzuheben nötig haben, dass alle durch Gärung zersetzten Körper wenigstens diese drei gewöhnlichsten Elemente aller organischen Stoffe in sich einschliessen. — Sehen wir zu, wie sich dessen Anwendung in der Erfahrung bestätigt.

Dass zunächst Kohlensäure das gemeinschaftliche Produkt aller Gärungen, welche nicht Oxydationen sind, ist, findet mit einer noch nicht einmal sicher feststehenden und weiter unten noch näher zu beleuchtenden Ausnahme durch die That-sachen seine vollkommene Bestätigung. Um die Entstehung der anderen Produkte im Lichte dieser Theorie zu beschauen, ist es nötig, mehr in die Detailbetrachtung einzelner Gärungsvorgänge einzutreten.

Zunächst zum einfachsten Falle, zur von uns noch nicht besprochenen *Gärung der Ameisensäure*. Dieselbe, welche schon von Popoff**) nach der Vermischung von dem Calciumsalz dieser Säure mit Kloakenschlamm — man sieht einen botanisch sehr wenig genau definierten Fermentorganismus — studiert wurde, ward von Hoppe einem eingehenderen Studium unterworfen. Vierprozentige Calciumformiatlösung wurde mit einem solchen von Bakterien wimmelnden Kloakenschlamm vermischt, in einen Kolben gefüllt, die einzige Gasableitungsröhre unter Quecksilber geführt, so dass die entwickelten Gase aufzusammeln und zu analysieren waren. Das aufgefangene Gas bestand zu $\frac{2}{3}$ aus Wasserstoff, zu $\frac{1}{3}$ aus Kohlensäure, woraus sich leicht folgende Zersetzungsgleichung ableiten lässt:



oder ohne den Kalk, der nur notwendig zu sein scheint, weil die Spaltpilze sich in einer sauren Lösung nicht entwickeln würden:



Diese Zersetzung ist auch ohne weitere Theorie leicht verständlich. Das Endresultat einer jeden Gärung muss immerhin eine Neuordnung der Atome in einer festeren Gleichgewichtslage sein, und da Kohlenstoff und Sauerstoff die allergrösste Affinität gegeneinander besitzen***), so muss der Wahrscheinlichkeit nach Kohlensäure

*) Pflüger's Archiv, Bd. XII, p. 1, u. Botan. Jahresber., III, 1875, p. 287.

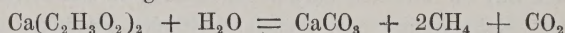
**) Ebenda, Bd. X, p. 113.

***) Die Verbrennungswärme von zwölf Gewichtsteilen (einem Atome) Kohle ist zwar nicht grösser als die von vier Gewichtsteilen (4 Atome, welche ebensoviel O sättigen als 1 Atom C) Wasserstoff, aber, wie schon früher angedeutet, wohl nur, weil ein Teil der Wärme zur Verflüchtigung des Kohlenstoffs verbraucht werden muss, und die spezifische Verdampfungswärme des C ist uns nicht bekannt. Vgl. Horstmann: Theor. Chemie, p. 571.

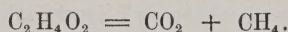
immer das eine Endprodukt sein. Die Reste gruppieren sich dann, so viel es gehen will, je nach ihrer natürlichsten Gleichgewichtslage; und dieser Rest kann selbst, wenn freier Sauerstoff während der Gärung ausgeschlossen ist, reiner Wasserstoff sein.

Betrachten wir den Vorgang am Molekül $\text{C} \begin{smallmatrix} \text{O}-\text{H} \\ \text{O} \\ -\text{H} \end{smallmatrix}$, so besteht der Vorgang in einer Lösung einer O—H-Verbindung und in der Bildung einer O—C-Verbindung. Ausserdem geht eine C—H-Verbindung in eine H—H-Verbindung über, was bei der Geringfügigkeit der dabei ins Spiel kommenden Affinitäten für die Gesamtbilanz der gewonnenen und verlorenen Affinitäten von relativ geringem Einfluss sein wird.

Hoppe setzte nun das Studium an der höchst höheren Homologen, an der *Essigsäure*, fort und fand bei Vermischung von Kloakenschlamm mit einer vierprozentigen Lösung essigsauren Kalks ein Volumen Kohlensäure und zwei Volumen Sumpfgas nach der Gleichung:



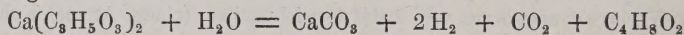
oder für die Essigsäure selber:



Betrachten wir hier nun die Konstitution des Moleküls $\text{C} \begin{smallmatrix} \text{O}-\text{H} \\ \text{O} \\ \text{CH}_3 \end{smallmatrix}$, so sehen wir, dass beinahe dasselbe stattgefunden hat. Eine O—H-Bindung geht wieder über in eine O—C-Bindung. Eine C—C-Bindung wird gleichzeitig verändert in eine C—H-Bindung, was wiederum als nebensächlich erscheint*).

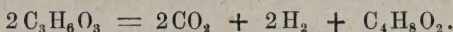
Soweit gekommen, wollte der genannte Forscher seine Gärungsstudien an den nächst höheren Homologen fortsetzen. Aber was war das Resultat?

Mit den nächst höheren Homologen, *Propionsäure* und *Buttersäure*, gelingt der gleiche Vorgang nicht, wie derselbe auch auf Kosten der Essigsäure schon viel langsamer verläuft als auf Kosten der Ameisensäure. Ja, im Gegenteile, diese nächst höheren Homologen sind häufig das Resultat von bei Ausschluss von Luft verlaufenden Gärungsprozessen. Die theoretischen Gründe hierfür liegen offenbar in dem geringen Gewinn an Affinität schon bei der Umsetzung der Essigsäure, welche aber noch um so mehr unzulänglich sein wird, eine chemische Umwälzung zu veranlassen, wenn dieser Gewinn selbst für ein grösseres Molekül genau derselbe bleibt. Zugleich kennzeichnet sich diese Thatsache in der schwierigen Bildung von Äthan und Propan überhaupt. Dagegen gelingt der analoge Versuch leicht bei Anwendung einer Säure mit drei Atomen Kohlenstoff aus der Reihe der Alkoholsäuren, von *Milchsäure*, wobei der uns bereits bekannte Prozess der Buttersäuregärung sich abspielt. Bei Verwendung des milchsauren Kalks unter analogen Verhältnissen bildet sich, wie bekannt, wiederum Wasserstoff und Kohlensäure, zugleich aber als drittes Spaltungsprodukt die für den Geruch so auffällige Buttersäure, etwa nach der Gleichung:

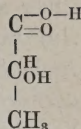


*) Bei essigsaurer Magnesia sind auch anders verlaufende Gärungserscheinungen (kohlensaure Magnesia, Ameisensäure und Holzgeist) beobachtet (Compt. rend., T. 84, p. 553).

oder



Betrachten wir hierbei die Konstitution der Äthyliden-Milchsäure



und lassen zunächst wieder die gleiche Lösung einer O—H-Bindung vor sich

gehen, so bleiben die ungesättigten Reste H und $\begin{array}{c} \text{C}=\text{H}-\text{H} \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}$ übrig. Hieraus könnte

unter direkter Vereinigung dieser Reste Alkohol als zweites Produkt entstehen, und dabei würde sich ausserdem eine C—H-Bindung bilden. Dies geschieht aber in diesem Falle nicht, sondern der Wasserstoff im Atomzustande sucht sich weitere H—H-

Bindungen auf, und die nun verbleibenden Reste $\begin{array}{c} \text{C}-\text{O}-\text{H} \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array}$ vereinigen sich unter sichzu Buttersäure. Hierbei findet der Vorteil statt, dass noch auf zwei Moleküle umgesetzter Milchsäure je eine O—H-Bindung in eine O—C-Bindung verändert wird, so dass der Gewinn an Sättigung der Gesamtaffinität auf der Hand liegt. Die Bildung von kleineren Mengen von Propionsäure bei der Buttersäuregärung wird dagegen von Hoppe-Seyler so erklärt, dass der im *status nascens* auftretende Wasserstoff etwas Milchsäure zu Propionsäure reduziere. Analoge sekundäre Gärungsumsetzungen werden wir nachher noch verschiedene zu besprechen haben.

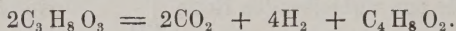
Buttersäuregärungen können nun freilich auch auf Kosten anderer Körper auftreten, z. B. bei der Zersetzung mehrerer Glycosen, nicht aber — wenigstens bei Anwendung der gewöhnlichsten Formen — von Milchzucker, offenbar weil die betreffenden Bakterien nicht über die entsprechenden invertierenden Enzyme verfügen. Allein bei der Ähnlichkeit der Zusammensetzung dieser Stoffe mit der Milchsäure können diese Erscheinungen unter den gleichen Gesichtspunkten betrachtet werden.

Ich glaube, dass die Hoppe'sche Ausdrucksweise noch an Klarheit und Einfachheit gewinnen würde, wenn man geradezu aussprechen würde: *Alle Gärungen, die Oxydationsgärungen vorerst ausgeschlossen, bestünden in dem Übergang von H—O-Bindungen in C—O-Bindungen, während gleichzeitig ein beliebiger Affinitätswechsel zwischen C—H-, C—C- und H—H-Bindungen eintreten kann, da hierdurch keine erhebliche Arbeitsleistung repräsentiert wird.*

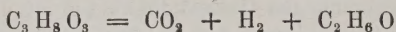
Betrachten wir zunächst weitere Gärungserscheinungen von diesem Gesichtspunkte aus, so werden bei dem gewöhnlichsten Zerfall des Zuckers in Alkohol und Kohlensäure unter dem Einflusse der Saccharomyceten 3 O—H-Bindungen in 3 C—O-Bindungen übergeführt, während gleichzeitig 3 C—C-Bindungen in 3 C—H-Bindungen sich verwandeln. Die alkoholische Gärung schliesst sich also ganz genau an die Sumpfgasgärung der Essigsäure, wobei im kleineren Maassstabe genau dasselbe erfolgt. Hierdurch wird auch noch deutlicher verständlich, warum die höheren Fettsäuren sich nicht mehr durch Gärung zersetzlich zeigen. Dies erscheint unmöglich, weil bei denselben dasselbe Maass von chemischer Kraft nur verfügbar wäre, um ein weit

grösseres Molekül zur Zersetzung zu bewegen, während beim Zucker diese Kraft selber auch verdreifacht ist. Man könnte daraufhin geradezu den Satz aufbauen: *Auf zwei Atome Kohlenstoff eines Gärungssubstrates ist mindestens nötig, ein Atom Sauerstoff aus seiner Verbindung mit Wasserstoff in die mit Kohlenstoff überzuführen, damit eine Gärung der Substanz wirklich Platz greifen kann.* Von demselben Gesichtspunkte aus erklärt sich auch die Nichtgärbarkeit der meisten aromatischen Substanzen und ihre so häufige gerade gegenteilige Bedeutung als Desinfektionsmittel.

Eine weitere Bestätigung in dieser Richtung gewährt die schon in der vorigen Vorlesung erwähnte, von A. Fitz studierte *Glyceringärung*. Dieselbe kommt durch Spaltpilze zu stande und daher spielt der Zusatz von kohlensaurem Kalke zur Neutralisation der entstehenden Säuren eine wohlthätige Rolle. Die Hauptprodukte sind Kohlensäure, Wasserstoff, Buttersäure und (normaler) Butylalkohol*). Danach würde sich die chemische Gärungsgleichung vorläufig empfehlen:



Bei Verwendung einer schmäleren Bakterienform, identisch mit *Bacillus subtilis* (Cohn), entsteht an Stelle von Butylalkohol auch Äthylalkohol, wofür die noch einfachere Gleichung:



in Anspruch genommen werden kann. Den Butylalkohol würde man sich vielleicht am besten durch die Einwirkung des Wasserstoffs im Entstehungszustande auf die Buttersäure entstehend denken können**). Für beide so formulierte Gärungsgleichungen ergibt sich nun wieder der Übergang von H—O-Gruppen in C—O-Gruppen, und zwar für die Entstehung der Buttersäure der grösste, nämlich fünf auf zwei Moleküle Glycerin, für die Entstehung von Alkohol nur vier auf die gleiche Menge Glycerin. Die Buttersäuregärung des Glycerins muss also nach den aufgestellten Gesetzmässigkeiten (vom Gesichtspunkte der Verfügung über einen grösseren Kraftvorrat aus) in der Natur bevorzugt werden; und dies ist auch thatsächlich der Fall, insofern diese Gärung die häufiger vorkommende ist. Das Ranzigwerden der Fette, wobei bekanntlich Buttersäure auftritt, gehört wohl z. T. hierhin und macht die besprochene Erscheinung zu einer praktisch interessanten; während andererseits auch aus Fetten, welche flüchtige Fettsäuren enthalten, diese und darunter Buttersäure frei gemacht werden können, infolge der Einwirkung von Milchsäure auf Neutralfette, und die Milchsäure wieder ihrerseits Gärungsprodukt sein kann***).

Weiter gehört hierhin die gleichfalls schon erwähnte von Popoff näher studierte *Sumpfgasgärung von Cellulose*, welche freilich nur erfolgt, wenn die Spaltpilze des Kloakenschlammes nichts anderes zu verzehren haben als diese schwer verdauliche Nahrung, und welche offenbar nur möglich wird, wenn die Bakterien die Fähig-

*) Vgl. über die Entstehung von Butylalkohol durch Gärung auch Beijerinck: Rec. trav. Chim., 12, p. 141.

**) Auch eine direkte Gleichung ist möglich und mit den hier besprochenen Gesetzen vereinbar. — Durch Buttersäurebazillen entsteht aus Glycerin Propylalkohol.

***) Vgl. Hagemann: Inauguraldissertation, Erlangen 1882.

keit besitzen, ein Enzym auszuschcheiden, welches die Cellulose in Glycose zu verwandeln vermag.

Die Ausscheidung von Sumpfgas und Kohlensäure bei dieser Gärung genau in den Verhältnissen wie bei der Sumpfgasgärung der Essigsäure (wenn man dort die Bindung der einen Hälfte der entstehenden Kohlensäure an Kalk in Anschlag bringt) wurde von Popoff beobachtet. Auch das *Arabin* soll die gleiche Gärung unter analogen Umständen erleiden. Dass dies nach dem ganz allgemein aufgestellten Grundsatz möglich sein muss, ergibt sich einfach aus der Betrachtung, dass diese Kohlenhydrate nach Beifügung eines Moleküls Wasser Polymere der Essigsäure sind, und zwar Polymere, welche durch ihren nur ganz schwach sauren Charakter uns Bürgschaft dafür geben, dass sie noch verhältnissmässig viel weniger Carboxylgruppen, in welchen bereits doppelt am Kohlenstoff gebundener Sauerstoff vorkommt, als jene enthalten.

Ein anderer Fall, der noch hierher gehört, ist endlich das Zerfallen der Äpfelsäure unter dem Einfluss von Bakterien in Milchsäure und Kohlensäure, welcher Umsatz auch wieder mit einer freilich nicht sehr erheblichen Vermehrung der Bindungseinheiten zwischen Kohlenstoff und Sauerstoff Hand in Hand geht. Dieser Fall ist theoretisch noch darum besonders interessant, weil man im Sonnenlicht bei Anwesenheit von Uranverbindungen ähnliche Spaltungen der Äpfelsäure bewerkstelligen kann*), ein Gegenstand, der noch berufen sein dürfte, der Ausgangspunkt von tief-sinnigen physiologischen Theorien zu werden.

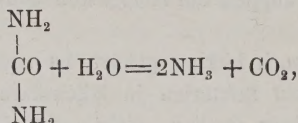
Wir haben endlich oben schon einer weiteren Zersetzungserscheinung, welche verschiedene zuckerartige Kohlenhydrate noch unter dem Einflusse von Spaltpilzen erleiden können, Erwähnung gethan, der *Milchsäuregärung*. Wenn wir dieselbe einfach auffassen als eine Umsetzung von Zucker von der Formel $C_6H_{12}O_6$ in Milchsäure von der halb so grossen Formel, so würde ein derartiger Vorgang sich allerdings kaum unter die eben dargelegten Gesetzmässigkeiten einreihen lassen; denn bei dem Zerfall von einem Molekül Zucker in zwei Moleküle Milchsäure würde sich auf sechs Atome Kohlenstoff nur der Austausch einer neugebildeten C—O-Bindung für eine H—O-Bindung nachweisen lassen — ein Affinitätsgewinn, welcher der bisherigen Erfahrung gemäss sonst nicht eine so grosse Umwälzung zu veranlassen im stande ist. Aber diese Thatsache liegt, wie wir gesehen, bei der Milchsäuregärung auch keineswegs vor. Es ist nachgewiesen, dass nicht so viel Milchsäure bei dieser Gärung entsteht, sondern im günstigsten Falle nur einige 80 Prozent, während ein nicht unansehnlicher Teil der Gärungsprodukte noch ganz unbekannt ist. Wenn wir weiter berücksichtigen, dass Anwesenheit von Sauerstoff eine Bedingung**) für dauernde Milchsäuregärung ist, so ist es nicht unmöglich, dass diese Gärungserscheinung (wenigstens beim Auftreten so grosser Menge von Säure) ins Bereich der Oxydationsgärungen gehört, und unter diesen Umständen wäre, wie wir gleich bei Besprechung der Theorie dieser Erscheinungen sehen werden, leicht eine Gleichung aufzustellen, die unserem allgemeinen Postulate Genüge thut.

*) Vgl. Landw. Versuchsst. 21, p. 277.

**) Vgl. auch Boutroux: Compt. rend., T. 86, p. 605.

Da indessen die thatsächlichen Ergebnisse in quantitativer Beziehung ungenügend sind, so kann weiter aus diesem Gärungsvorgange kein fester Beleg weder für noch wider die hier vertretenen Anschauungen gewonnen werden. Um so notwendiger erscheint aber eine weitere Untersuchung aller chemischen Produkte der Milchsäuregärung. Gerade vom theoretischen Gesichtspunkte aus ist dieselbe ebenso wie die eben erwähnte Äpfelsäuregärung von besonderem Interesse.

Auch die gährungsartige Zersetzung stickstoffhaltiger Körper lässt sich aus den gleichen Gesichtspunkten begreifen, so die Zersetzung des Harnstoffs in Kohlensäure und Ammoniak, welche wenigstens unter dem Einflusse von spaltpilzartigen Formen geschehen kann*). Betrachten wir die rationellen Formeln des Harnstoffs und des daraus durch die Harnstoff- und Ammoniakgärung entstehenden kohlensauren Ammoniaks:



so trifft wieder die Regel zu, dass H—O-Bindungen in C—O-Bindungen übergehen, während gleichzeitig auch C—N-Bindungen in N—H-Bindungen verändert werden. Die Anzahl dieser Veränderungen ist eine zweifache für jedes Molekül, so dass wohl keine Frage darüber bestehen kann, dass die so gewonnenen Kräfte ausreichend sind, die chemische Bewegung des verhältnismässig kleinen Moleküls zu veranlassen. Neu ist für diesen Vorgang nur die Hereinziehung eines Wassermoleküls in den Umsatz, welcher aber auch für andere Fäulnisprozesse stattfindet, sobald man z. B. Salze an der Stelle der freien Säure vergären lässt.

Ob die vielen anderen unter dem Einflusse von Bakterien stattfindenden Umsetzungen sich dem gleichen Prinzipie unterordnen werden, lässt sich natürlich bei dem absoluten Mangel an der quantitativen Feststellung der betreffenden Gärungs- und Fäulnisercheinungen einstweilen nicht beurteilen. Genug, dass bei der schon ziemlich grossen Fülle von einschlagendem, positivem Materiale einstweilen nichts dagegen spricht, und wir glauben wenigstens ein Recht zu haben, den hier angedeuteten Gesichtspunkt als Etappe für weitere systematische Forschungen, als sogenannte Versuchshypothese, anzuempfehlen.

Natürlich ist derselbe in dieser Weise gefasst nur eine ziemlich rohe Ausdrucksweise für eine tieferliegende Gesetzmässigkeit, die endgültig in der Weise ihren Ausdruck finden muss, dass eine gewisse Anzahl von Kalorien notwendig ist, um die Spaltung eines Moleküls von bestimmter Grösse möglich zu machen. Aber da, wie wir in einer früheren Vorlesung gesehen, unter allen Elementen der organischen Substanz der Kohlenstoff und der Sauerstoff die grösste Affinität gegeneinander haben, so verschwinden die übrigen chemischen Veränderungen meistens gegen die Thatsache einer näheren Vereinigung dieser beiden Elemente, und die Zunahme solcher Bindungen bleibt eine populäre Regel von entschiedenem Werte, da man die Möglichkeit einer Umsetzung in einem gewissen Sinne danach beurteilen kann.

*) v. Tieghem: Compt. rend., T. 58, p. 533; doch vgl. auch ebenda, T. 83, p. 5.

Der gleiche Gesichtspunkt gestattet uns natürlich auch die ganz allgemeine Frage zu beantworten: Welche Substanzen der organischen Chemie sind überhaupt gärungsfähig im weitesten Sinne des Worts? — und dabei zu vergleichen, inwieweit dies mit der Erfahrung übereinstimmt.

Nicht gärungsfähig nach unserem Prinzipie müssen sein:

alle Kohlenwasserstoffe,

alle einsäurigen Alkohole mit einem Atome Sauerstoff (weil diese in einem Moleküle das Material nicht besitzen zur Bildung von Kohlensäure und zwei Moleküle erfahrungsgemäss nicht zusammenwirken),

alle Äther (Anhydride) dieser Alkohole,

alle Aldehyde dieser Alkohole (aus demselben Grunde, und weil hierbei auch schon eine völlige Sättigung der C—O-Affinitäten erreicht ist). Viele der genannten Stoffe sind vielmehr *Gärungsprodukte*.

Ferner können nach dem gleichen Prinzipie nicht Gärungssubstrat sein:

alle höheren Fettsäuren von der Propionsäure ab (weil hier das Bewegungsmoment zu klein ist im Verhältnis zum Moleküle),

Brenzweinsäure und ihre höheren Homologen,

Acrylsäure und ihre Homologen,

Crotonsäure, Angelicasäure, Tetralsäure und ihre Homologen,

Itaconsäure, Brenztraubensäure (alle aus demselben Grunde);

noch weniger die zugehörigen *Aldehyde,*

die Amine,

alle aromatischen Substanzen, mit Ausnahme vielleicht von solchen, welche Paarlinge mit gärungsfähigen Substanzen sind, z. B. Glycoside (immer aus demselben Grunde).

Auch unter diesen Stoffen finden sich aber natürlich Gärungsprodukte, wie namentlich die höheren Fettsäuren und viele Amine. Dieselben fallen dann als solche besonders ins Auge, weil sie der weiteren Zersetzung wenigstens durch Spaltungsprozesse nicht mehr zugänglich sind.

Als gärungsfähig ist unter diesen Substanzen keine nachgewiesen.

Gärungsfähig dagegen müssen sein:

die niederen Fettsäuren bis zur Propionsäure: erwiesen,

Oxalsäure, Malonsäure, Bernsteinsäure: zum Teil erwiesen.

Dann namentlich die *Alkoholsäuren*, wie *Äpfelsäure, Weinsäure, Citronensäure,* die alle Gärungserscheinungen sehr zugänglich sind;

die mehrsäurigen Alkohole der fetten Reihe, als *Glycol, Propylglycol, Butylglycol:* für ersteren erwiesen; endlich die Kohlenhydrate in ihrer Eigenschaft als Polyglycole.

Wenn es dieser Theorie ungeachtet eine Menge von wenigstens für bestimmte niedrige Organismen ungärbaren Stoffen*) unter diesen zuletzt aufgezählten giebt, so darf man nicht vergessen, dass jene nur verlangt, dass keine von ihr als ungärbare

*) Ähnliche Tabellen, in denen mehr auf die stickstoffhaltigen Substanzen Rücksicht genommen ist, bei O. Loew: The energy of the living protoplasm, p. 45 und 51.

erklärten Substanzen faktisch gärbare gefunden werden, aber nicht umgekehrt, weil eben, um gärbare zu sein, ausser den allgemeinen aus dem Gesetz der Erhaltung der Kraft sich herleitenden Eigenschaften noch besondere, sozusagen individuell physiologische, erfüllt sein müssen. Genau so wie Steinkohlen trotz ihrem Gehalt an potentieller Energie keine brauchbaren Nahrungsmittel für Tiere sind, aber darum doch das Gesetz stehen bleibt, dass diese wie jene verbrennlich sein müssen.

Auch die niedrigen Organismen haben sich in dieser Beziehung als äusserst launisch in Bezug auf die Wahl ihrer Nahrung erwiesen, wie schon aus jenen alten Untersuchungen hervorgeht, durch welche Pasteur zum erstenmal die Aufmerksamkeit der wissenschaftlichen Welt auf sich lenkte, und welche deutlich bewiesen, dass gewöhnlicher Schimmel einen deutlichen Unterschied mache hinsichtlich des optischen Drehungsvermögens der von ihm zur Nahrung verwendeten Weinsäure.

Derartige Thatfachen haben sich seitdem gehäuft und so haben sich auch von den vielen Stoffen, welche in neuerer Zeit durch Emil Fischer und andere dargestellt wurden und die mit den gewöhnlichen Glycosen isomer sind, nur verhältnismässig wenige für die alkoholische Gärung geeignet gezeigt. Die Geeignetheit eines bestimmten Stoffes, einem bestimmten Organismus zur Nahrung zu dienen, erscheint häufig so individuell, dass der eben genannte Forscher sich für das sich ernährende Protoplasma und Nährstoff geradezu des Bildes vom Schlüssel und vom Schlosse bedient, um dies Verhalten anschaulich zu machen *).

Von dem primären ursprünglichen Gärungsakte haben wir dann weiter, um zu einer vollständigeren Einsicht des Chemismus der Gärung zu gelangen, zu unterscheiden *sekundäre Umsetzungen*, durch die chemischen Veränderungen in der gärenden Flüssigkeit veranlasst.

Wenn man einfach empirisch und ohne sich Rechenschaft abzulegen von den einzelnen chemischen Details, die Umsetzungen bei den Gärungserscheinungen studiert, so erscheinen die gewonnenen Resultate so verwickelt und so launenhaft, dass eine bestimmte Regel hineinzubringen häufig vergeblich ist. Rein erfahrungsgemäss ausgedrückt, giebt es überhaupt nur sehr wenige konstante Gärungsprodukte, und manchmal treten neben den gewöhnlichen Produkten ausserordentliche auf, deren Erscheinen nach den bisher behandelten Gesetzmässigkeiten unerklärlich bleiben muss.

So ist manchmal bei Gärungen von Zuckersäften, die im allgemeinen als Milchsäure- oder Buttersäuregärungen charakterisiert werden konnten, das Auftreten von Stickoxyd in reichlichen Mengen beobachtet worden, welches auf Kosten von Nitraten, die zufällig beigemischt waren, entstanden sein musste, und manche glaubten es dann in solchen Fällen mit einer besonderen Salpetergärung zu thun zu haben. Ähnliche Variationen sind in der Litteratur von beinahe allen Gärungserscheinungen erwähnt und tragen nicht wenig dazu bei, die Übersicht über dieselben zu erschweren.

*) Stereochemische Isomeren sind nicht gleichmässig nährkräftig, z. B. Maleinsäure nicht, Fumarsäure wohl. Vgl. Ber. d. deutsch. chem. Gesellsch., 92, R. 1161. Auch Nägeli hat die Nährfähigkeit verschiedener stickstoffhaltigen und stickstofffreien Stoffe für die niederen Pilze durchprobiert. Vgl. Sitzungsber. d. königl. bayr. Akad. d. Wissenschaften, 5. Juli 1879.

Viele dieser Vorkommnisse hören auf, die gesuchten Gesetzmässigkeiten störend zu beeinflussen, wenn man mit in Betracht zieht, dass die zunächst primär entstehenden Gärungsprodukte im *status nascens* Reaktionen ausüben müssen — nicht auf andere gleichzeitig entstehende Gärungsprodukte, denn sonst würden diese nicht entstanden sein — aber auf noch nicht vergorenes Material oder noch häufiger auf zufällig in der Gärungsflüssigkeit anwesende Körper, welche durch die Gärungsorganismen selber nicht verändert werden. — Aus diesem Gesichtspunkte kann vermutlich eine ganze Menge von verwirrenden Vorkommnissen erklärt werden.

Eine Hauptrolle für die Erzeugung solcher sekundären Gärungsprodukte spielt der Wasserstoff, welcher bei der Ameisensäuregärung, Glyceringärung und Buttersäuregärung in so grossen Mengen gebildet wird und nach den Thatsachen der reinen Chemie im *status nascens* ein äusserst kräftiges reduzierend wirkendes Agens darstellt.

Auf diese Weise glaubte man früher z. B. das massenhafte Auftreten von *Schwefelwasserstoff* oder von Sulfiden bei den verschiedensten Fäulniserscheinungen erklären zu können, auch wenn Proteinstoffe nicht Substrate der Fäulnis sind. Sulfate liess man durch den Wasserstoff reduzieren, Schwefel, der auch in der Gestalt von Blumen in faulenden Flüssigkeiten verteilt, zur Entstehung von Schwefelwasserstoff, oder wenn Eisensalze zugegen sind, von Schwefeleisen Veranlassung gab, sich mit diesem Wasserstoff verbinden. Alles dies geschieht aber in geringem Grade auch bei der alkoholischen Gärung, selbst in mineralischen Nährflüssigkeiten, und zwar auch, wie es scheint, wenn Bakterien abwesend sind. Aber gerade dieses Umstandes wegen ist es eine vorschnelle Verallgemeinerung, alle solche Reduktionserscheinungen auf die Thätigkeit von zunächst erzeugtem Wasserstoff zurückzuführen; denn gerade bei der alkoholischen Gärung hat man nach der Anwesenheit dieses Elementes bis dahin vergeblich gesucht*), und ausserdem finden bei dieser Gärung die anderen noch zu erwähnenden Reduktionserscheinungen von Nitraten, Indigo u. s. w., die auch auf Wasserstoffentwicklung zurückgeführt werden sollen, nicht statt.

In vielen Fällen ist jedenfalls die Schwefelwasserstoffentwicklung bei Fäulnisprozessen und namentlich wo dieselbe auf Kosten von Sulfaten stattfindet, eine Gärungserscheinung *sui generis*, deren sehr mühsame Erforschung Beyerinck**) sich angelegen hat sein lassen, und als Gärungserreger wovon ein absolut anaërobes *Spirillum sulfuricans* isoliert werden konnte.

Sicherer gehört wohl in die Kategorie der sekundären Gärungsprodukte die *Manniterzeugung* für die Milchsäuregärung. Mannit ist aber bekanntlich Glycose + Wasserstoff, und Glycosen sind bei einer Milchsäuregärung in um so grösserem Maassstabe vorhanden, je langsamer die Gärung verläuft. Daher ist für die versuchte Deutung die Angabe von besonderem Interesse, dass Mannit nur bei Milchsäure- und ähnlichen Gärungen in sauren Flüssigkeiten entstehe (ohne Kreidezusatz); denn diese sind den betreffenden Bakterien minder zuträglich, und daher

*) Nur G. Cugini (Botan. Jahresber., 1875, p. 288) hat hierfür einiges positive Material zusammengebracht, welches jedoch nicht völlig beweiskräftig erscheint.

**) Centralbl. f. Bakteriologie, 1895, p. 1.

ist länger Gelegenheit zur Wasserstoffaddition. Unter günstigeren Gärungsbedingungen würde ausserdem der Mannit selber Veranlassung zu Gärungserscheinungen geben; denn auch er wird der Buttersäuregärung für fähig erachtet.

In das gleiche Kapitel gehört vermutlich, wie schon vorhin als Beispiel erwähnt, die sogenannte *Salpetergärung* *), welche in salpeterhaltigen Runkelrübensäften beobachtet worden ist. Dieselbe besteht in der Entwicklung von Stickoxyd aus diesen häufig die Milchsäuregärung und die darauf folgende Buttersäuregärung erleidenden Säften. Die Erklärung dafür liegt auf der Hand, wenn wir Wasserstoff im *status nascens* auf den Salpeter einwirken lassen. Auch in Melassemaischen ist diese sogenannte Salpetergärung als störender Prozess beobachtet. Gegen dieselbe wird eine Ansäuerung der gärenden Masse mit Schwefelsäure empfohlen, offenbar weil eine saure Flüssigkeit der Bakteriengärung ungünstig ist.

Weiter gehört hierhin vielleicht die Entstehung der *Bernsteinsäure* aus der Äpfelsäure bei Behandlung der Lösung der letzteren mit faulem Käse und Kreide, worauf selbst eine Methode der Bernsteinsäuregewinnung begründet worden ist. Die normale Gärung der Äpfelsäure ist wohl der Zerfall in Milchsäure und Kohlensäure. Und thatsächlich sind auch diese Produkte zusammen mit Buttersäure, einem weiteren Gärungsprodukte aus der Milchsäure, als Produkte der Äpfelsäuregärung beschrieben. Diese Beziehung der Bernsteinsäure zur Äpfelsäure und zur Weinsäure wird natürlich auch für eine definitive Erklärung des Auftretens der ersteren bei der alkoholischen Gärung zu berücksichtigen sein.

Endlich ist der gleiche Gesichtspunkt, wie schon gelegentlich erwähnt, von Hoppe geltend gemacht worden für das Auftreten der *Propionsäure* bei der Buttersäuregärung der Milchsäure. Die erstere ist vielleicht aufzufassen als das Produkt der Einwirkung des Wasserstoffes auf die letztere, weil die gleiche Umsetzung auch sonst mit Wasserstoff im *status nascens* gelingt. Doch hat man auch diese Säure durch eine andere eigentümliche Gärung von Milchsäure neben Spuren von Essigsäure auftreten sehen.

Charakteristisch für alle diese sekundären Gärungsprodukte muss natürlich sein, dass sie in wechselnder und häufig geringer Menge auftreten, in Bezug worauf eben noch genügende experimentelle Thatsachen fehlen.

Eine allgemeine chemische Theorie der *Oxydationsgärungen*, wozu die Essig- gärung, die Oxalsäure-, die Glyconsäuregärung, die Weinkahmgärung, die meisten Schimmelgärungen und vielleicht auch teilweise die Milchsäuregärung zu rechnen wären, gestaltet sich natürlich viel einfacher. Auch hierbei werden, soweit die Erfahrung geht, neue C—O-Bindungen veranlasst, aber nicht durch Umlagerung schon vorhandener Sauerstoffatome innerhalb des Moleküls, sondern auf Kosten von aussen stammenden Sauerstoffs. Es gehen also, um bei unserer Ausdrucksweise zu bleiben, O—O-Bindungen in C—O- und gleichzeitig auch gelegentlich in H—O-Bindungen

*) Compt. rend., T. 66, p. 177, 257, 275.

über, während gleichzeitig C—C-Bindungen und C—H-Bindungen gelöst werden. Bei einem solchen Vorgange ist der Verlust an chemischen Affinitäten selbstverständlich und durchaus populär, so dass keine erläuternde Bemerkung darüber mehr notwendig ist.

Ein Hauptunterschied gegenüber den Spaltungsgärungen ist nur der, dass auch sauerstoffärmere Stoffe, welche diesen Umsetzungen unzugänglich sind, wie z. B. einsäurige Alkohole höherer Fettsäuren, ja selbst Kohlenwasserstoffe Oxydationsgärungen unterhalten können; und — was damit im nächsten Zusammenhange steht — dass dabei nicht stets Kohlensäure als das Endprodukt der Gärung zu entstehen braucht; denn ein schon sauerstoffreicher Körper kann schwerlich partiell noch sauerstoffreicher werden, ohne Kohlensäure entstehen zu lassen, was bei einem sauerstoffärmeren, der von aussen seinen Sauerstoff bezieht, leicht möglich ist.

Substrate, welche einer Spaltungsgärung nicht mehr zugänglich sind, können nach dem eben angedeuteten Prinzipie wieder der Ausgangspunkt sein für eine Oxydationsgärung, bei welcher ja der Sauerstoff von aussen bezogen wird, unter welchen Umständen Gelegenheit gegeben ist zur Neubindung von Kohlenstoff an Sauerstoff, auch ohne dass (andersegebundene) Sauerstoffatome schon zuvor in dem Substrate vorhanden gewesen sind. Alkohol, ein Produkt einer Spaltungsgärung, ist z. B. nicht mehr gärfähig, aber an der Luft erleidet er unter bestimmten Bedingungen, unter welchen die Anwesenheit gewisser Organismen die wichtigste ist, eine Oxydationsgärung zu Essigsäure.

Während, wie gesagt, bei der Spaltungsgärung wohl immer Kohlensäure entstehen muss, um dem Postulate der Absättigung von Kohlenstoff gegenüber Sauerstoff zu genügen, ist hier das Entstehen von Carboxylgruppen genügend, um denselben Zweck zu erreichen. Daher das allgemeine Atmungsgesetz, welches auch intramolekulare Atmung und das Leben der Gärungsorganismen umfasst, lautet: *Sauerstoffaufnahme oder Kohlensäureausgabe, gewöhnlich beides gleichzeitig**).

Zugleich erhellt aus dieser physiologischen Alternative die praktische Bedeutung der verschiedenen Gärungserscheinungen für eine schliesslich vollständige Zerstörung des organischen Stoffes. Werden durch Spaltungsgärungen zunächst auch neben dem Endprodukt, Kohlensäure, unter diesen Umständen nicht weiter veränderliche Stoffe, wie Alkohole oder Fettsäuren, gebildet, so können diese bei erfolgreichem Luftzutritt doch wieder neue Kohlensäure oder wenigstens Säuren bilden, die ihrerseits wieder gärfähig sind, und so wird der organische Stoff unter wechselnden Bedingungen schrittweise seiner gänzlichen Oxydation entgegengeführt**).

Die Organismen, welche sich an den Spaltungsgärungen beteiligen, sind die sogenannten *Anaëroben*; die, welche sich an den Oxydationswirkungen beteiligen, die *Aëroben*. Aber man darf nicht ausser acht lassen, dass beide Kategorien nicht immer absolute Gegensätze sind, muss vielmehr bedenken, dass sie stufenweise in-

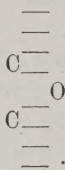
*) Vgl. dieses Lehrb. d. Agrikulturchemie, I, p. 104.

**) Daher auch die Bedeutung des Luftabschlusses bei der Sauerfutterbereitung und anderer Konservierung durch die Gärung selber. Wenn nicht Spaltungs- und Oxydationsgärungen alternieren können, steht der Prozess nach einiger Zeit notwendig still.

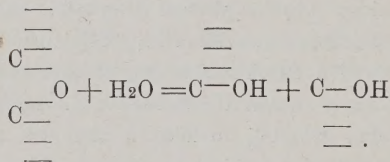
einander übergehen. Manche niedrigen Organismen sind fakultativ das eine oder das andere und dienen so als nicht geringe Stütze der Sauerstoffentziehungs- oder besser Sauerstoffverschiebungstheorie. Andere sind mässig aërob und spalten dabei doch das Gärungssubstrat.

Endlich möchte ich an dieser Stelle nochmals darauf hinweisen, welch ein wesentlicher Unterschied zwischen dem Chemismus der echten Gärungen und Fäulnisercheinungen und dem der Vorgänge, durch nicht organisierte Fermente veranlasst, besteht. Das *allgemeine des ersteren ist immer*, wie wir gesehen haben, *die Entstehung einiger neuen C—O-Bindungen. Alle Fermentvorgänge, veranlasst durch die chemisch isolierbaren Fermente, lassen die Anzahl der von einer Sorte bestehenden Affinitäten ungeändert.* Die durch sie veranlasste Neugruppierung der Moleküle findet immer innerhalb des so gewährten Rahmens statt. Dass trotzdem unter solchen Umständen eine bessere Sättigung der Affinitäten statt hat, liegt darin begründet, dass die einzelnen Sorten von Affinitäten, z. B. von Kohlenstoff gegen Wasserstoff, nicht völlig Gleiches in sich einschliessen — eine notwendige Annahme der modernen Chemie, welche wir bis dahin für unsere Zwecke ohne Schaden beiseite liegen lassen konnten.

Um ein Beispiel in dieser Richtung zu geben: Die Bindungsweise eines Glycosids, eines gemischten Äthers oder Anhydrits kann immer nach folgendem Schema gestellt werden:



Dasselbe zerfällt, wie wir schon am Schlusse der ersten Vorlesung gesehen haben, mit Wasser durch die Thätigkeit der chemischen Fermente nach dem Schema:



Also vor der Einwirkung 2 C—O Bindungen, 2 H—O-Bindungen, nach der Einwirkung ebenso. —

Trotzdem kann eine Veränderung der chemischen Arbeit stattfinden, weil eine C—O-Bindung eines O-Atoms, das schon an C gebunden ist, naturgemäss etwas anderes bedeutet als die eines O-Atoms, welches auf der anderen Seite an H gebunden ist. Aber natürlich sind die Kräfte, um welche es sich hierbei handelt, viel geringfügigere.

In Bezug auf die zuletzt besprochenen allgemeinen Gesichtspunkte haben wir in der neuesten Zeit nur wenig Neues gelernt.

Die Fortschritte, welche in den letzten beiden Decennien auf dem Gebiete der Gärung gemacht worden sind, gehören beinahe ganz der Botanik oder, wie man sich

in diesem Falle gegenwärtig ausdrückt, der Bakteriologie an, während der eigentlich chemische Teil der Forschung beinahe stillgestanden hat. Dennoch wird auch der letztere von dieser zeitweiligen Einseitigkeit Vorteil haben, da man nach der Erreichung der Handhabung einer wirklichen Reinkultur neue Untersuchungen über den Chemismus bei den Gärungen mit viel mehr Aussicht auf gleichartige und darum eindeutige Resultate beginnen kann.

Das *Aufsuchen aller normalen Gärungsprodukte* für die verschiedensten durch bestimmte niedrige Organismen bewirkten Umsetzungen, das Aufstellen fester Gärungsgleichungen wird die nächste Aufgabe in dieser Richtung sein, und nachdem man diesen Weg gegangen, wird man auch in voller Klarheit erkennen, ob die chemischen Veränderungen sich alle in Bezug auf die Neugruppierung der Atome einem gemeinsamen Gesetze fügen, wie man ein solches versuchsweise schon jetzt aufzustellen unternommen, und ob sich nicht trotz der Unendlichkeit der beteiligten organischen Formen das Wesen der chemischen Veränderung auf einige wenigen leicht verständlichen Gesichtspunkte zurückführen lassen wird.





